

# Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК 631.41; 550.4

ГРНТИ 38.33.03., 38.33.17., 38.33.23., 34.35.51

Инв. №

<b>УТВЕРЖДЕНО:</b>
Исполнитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
От имени Руководителя организации  _____/Иванов А.О./ М.П.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 3 этапа Государственного контракта  
№ П2192 от 09 ноября 2009 г. и Дополнению от 02 апреля 2010 г. № 1/П2192,  
Дополнению от 28 июля 2010 г. № 2, Дополнению от 05 марта 2011 г. № 3

Исполнитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н.Ельцина»

**Программа (мероприятие):** Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.3.1 Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук.

**Проект:** Изучение геохимических особенностей гетерохронных погребенных почв для оценки степени современного загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами

**Руководитель проекта:**

\_\_\_\_\_/Валдайских Виктор Владимирович  
(подпись)

Екатеринбург  
2011 г.

## Список исполнителей

Валдайских В.В., к.б.н., доцент каф. экологии

---

Некрасова О.А., к.б.н., доцент каф. экологии

---

Бетехтина А.А., к.б.н., доцент каф. экологии

---

Филимонова Д.А., лаборант-исследователь НИЧ

---

Политова Екатерина Геннадьевна, студентка

---

Жданова Татьяна Юрьевна, студентка

---

## Реферат

Предлагается изучение уровня накопления элементов в древних погребенных почвах, надежно изолированных от современных воздействий окружающей среды, в том числе – от антропогенных и техногенных.

Проанализированы на содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Fe) почвенные образцы, включающих в себя погребенные и дневные гумусовые горизонты почв образцы, характеризующие почвообразующие породы. Кроме того, на содержание микроэлементов проанализированы препараты гуминовых кислот, выделенные из погребенных и дневных почв. Дана предварительная оценка уровня содержания тяжелых металлов в погребенных почвах; выявление содержания ТМ в органическом веществе погребенных почв; дана сравнительная характеристика содержания ТМ в погребенных почвах, а также в аналогичных современных дневных относительно незагрязненных (ненарушенных, “фоновых”) почв.

Дана общая агрохимическая характеристика современных и погребенных почв по основным физико-химическим показателям. Проведены полевые экспедиционные работы: изучены морфологически и отобраны образцы погребенных и дневных почв.

### **Список используемых сокращений**

ТМ – тяжелые металлы

КС – культурный слой

ГК – гуминовые кислоты

ФК – фульвокислоты

ЮВ – юго-восток

ЮЗ – юго-запад

СВ – северо-восток

СЗ – северо-запад

## Содержание

Введение.....	5
Основная часть .....	7
1. Аннотированная справка по научным результатам НИР, полученным на I этапе.....	7
2. Аннотированная справка по научным результатам НИР, полученным на II этапе	13
3. Аналитический отчет о проведении теоретических и (или) экспериментальных исследований III этапа.....	17
4. Отчет по обобщению и оценке результатов исследований.....	68
5. Публикации результатов НИР.....	77
5.1. Заключение экспертной комиссии по открытому опубликованию.....	77
5.2. Копия статьи «Распространенность и интенсивность микоризообразования у травянистых растений Среднего Урала с разными типами экологических стратегий».....	78
5.3. Копия статьи «Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах (на примере Южного Урала).....	85
5.4. Копии статей из сборников и материалов конференций, подготовленных исполнителями НИР.....	92
Заключение.....	116
Список литературы.....	120
Приложение.....	128

## Введение

Одна из актуальнейших проблем геохимического мониторинга – определение фоновых уровней содержания элементов в окружающей среде: только на его основе возможно оценить степень локального или регионального техногенного загрязнения. Такие задачи ставятся в системе фоновых мониторинга, как подсистемы глобального экологического мониторинга. Цель фоновых мониторинга – получение сведений об эталонах окружающей среды и выявление тенденций их изменений на фоновом уровне. На практике под фоновым чаще всего понимают содержание химических элементов в природных комплексах, удаленных от источников загрязнения (Мотузова, 2001).

Но эти показатели могут называться фоновыми лишь условно вследствие глобального рассеивания химических элементов. Как было уже сказано, локальное и региональное загрязнение почв техногенными соединениями происходит на некотором расстоянии от источника загрязнения. Размер и форма ареала при этом зависят от множества факторов: климатических условий, рельефа местности, состава горных пород, технологических параметров производства и др.

Глобальное загрязнение заключается в том, что соединения тяжелых металлов и других поллютантов, входящие в состав наиболее тонких частиц аэрозолей (микронные и субмикронные), поступают в верхние слои атмосферы и переносятся на большие расстояния, измеряемые тысячами километров. При этом преобладает аэрозольное загрязнение. Именно глобальное рассеивание элементов привело к тому, что в настоящий момент на поверхности суши планеты не осталось эталонных ландшафтов с изначальным естественным геохимическим фоном. В современных условиях общепланетарного загрязнения фоновый уровень содержания химических элементов в природных средах формируется уже как сумма естественного их содержания почвах, а также их поступления за счет дальнего переноса. Таким образом, так называемые “фоновые” показатели содержания загрязняющих веществ в реальности оказываются завышенными на некоторую неизвестную величину.

В системе геохимического мониторинга окружающей среды, в частности – ее почвенного компонента, резко обозначилась следующая проблема – отсутствие надежных эталонных почв для оценки уровня современного загрязнения почвенного покрова (в том числе – глобального) тяжелыми металлами и металлоидами. Выполняемый проект предполагает решение данной проблемы на основе применения принципиально нового подхода к поиску фоновых почв.

В рамках выполнения проекта с этой целью предлагается изучение уровня накопления элементов в древних погребенных почвах, надежно изолированных от современных воздействий окружающей среды, в том числе – от антропогенных и техногенных.

В рамках выполнения III этапа работ были выполнены следующие исследования:

1. Проведены полевые экспедиционные работы в Барнаульском Приобье и Челябинской области (поселение Каменный Амбар): проведено геоботаническое описание ландшафтов, изучены морфологические особенности и отобраны образцы погребенных горизонтов, культурного слоя, фоновых почв.

2. Была завершена аналитическая работа по более чем 200 почвенным образцам изучаемых археологических и природных объектов. Дана общая агрохимическая характеристика современных и погребенных почв по следующим показателям: общий углерод, содержание карбонатов, доступные растениям соединения фосфора и калия, сумма обменных оснований  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , кислотность водной и солевой вытяжек, гранулометрический состав, качественный (групповой и фракционный) состав гумуса, оптические свойства гуминовых кислот (ГК). Это было необходимо, прежде всего, для установления сходства и различий современных и погребенных почв по условиям их формирования: проведение сравнительных характеристик микросостава возможно только при условии однотипности генезиса данных почв.

3. Выполнено микроэлементное исследование 60 почвенных образцов. Определено содержание 9 микроэлементов: кобальта, кадмия, хрома, цинка, марганца, никеля, меди, железа, свинца в погребенных и дневных почвах разных природно-климатических зон.

4. Произведен сравнительный анализ агрохимического и микроэлементного состава изучаемых почв. Выявлены уровни содержания ТМ в погребенных почвах в разных природно-климатических зонах. Построены хроноряды изменения содержания ТМ в почвах на протяжении исторического времени. Определена степень современно загрязнения дневных фоновых почв вследствие глобального переноса загрязнителей. Определены уровни техногенности изучаемых элементов, дана оценка объективному расчету уровня ПДК и ОДК содержания ТМ в почвах. Даны рекомендации по использованию результатов НИР в природоохранной деятельности и в учебной работе.

5. Результаты НИР доложены на конференциях и опубликованы в виде материалов и тезисов; имеются две публикации в изданиях ВАК.

## **Основная часть**

Проведение III этапа исследований по проблеме:

### **«Изучение геохимических особенностей гетерохронных погребенных почв для оценки степени современного загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами»**

#### **1. Аннотированная справка по научным результатам НИР, полученным на I этапе**

В настоящее время человечество стало мощной геохимической силой, сопоставимой с геологическими силами природы. Возникла необходимость выделения особой категории геохимических процессов – техногенной миграции (техногенеза), совокупности геохимических и геофизических процессов, связанных с деятельностью человечества (Глазовская, 2007).

Более того, по масштабам многие процессы техногенеза намного превышают природные, что имеет различные негативные стороны, в том числе – химическое загрязнение биосферы. При загрязнении биосферы происходит формирование геохимических аномалий разного уровня (глобальные, региональные, локальные: по Перельману, 1975), в которых содержание химических элементов превышает естественные в десятки, сотни и более раз. Экологическая опасность химического загрязнения состоит в том, что загрязняющие вещества в окружающей среде неизбежно оказываются в составе живых организмов, в том числе – в организме человека. С загрязняющими веществами связаны различные виды негативного воздействия на живые организмы. Последствия этого труднопредсказуемы. Загрязнение рассматривается как одна из возможных причин экологического кризиса.

С рассеянием техногенных элементов связано понятие химического загрязнения среды. Под загрязнением природной среды понимают переход за пределы пороговых концентраций, обусловленный только техногенными факторами, без учета экстремальных природных воздействий (вулканические извержения, наводнения, пыльные бури). Термин "загрязнение" было предложено сохранить только для техногенного привноса веществ, в том числе – тяжелых металлов (Солнцев, Ермаков, 1976, по Глазовской, 2007), среди которых наиболее токсичными являются ртуть, кадмий и свинец (Алексеев, 1987).

Некоторые авторы (Перельман, Касимов, 1999) отмечают, что если по абсолютной массе твердые отходы опережают выбросы, то по степени аномальности относительно кларков литосферы первое место занимают именно выбросы от предприятий и



автотранспорта. Нагрузка на окружающую среду от отходов и стоков занимает соответственно второе и третье место. Л.Г. Бондарев (1976), образно назвавший загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды "металлическим прессом" на биосферу, придерживается мнения, что главным поставщиком рассеянных элементов в среду является не металлургическое производство, а сжигание угля.

Из недр ежегодно извлекается больше, чем вовлекается в биологический круговорот: кадмия – более чем в 160 раз, Sb – в 150 раз, Hg – в 110 раз, Pb – в 35, As, F – в 15, U – более чем в 6, Sn – в 5, Cu – в 4, Mo – в 3 раза (Глазовская, 2007).

Как отмечает В.В. Добровольский (1983, 2008), главная опасность рассеянных элементов (тяжелых металлов и металлоидов) заключается не в явном отравлении, а в том, что они способны постепенно концентрироваться в пищевых цепях и в силу этого воздействовать на функционирование отдельных звеньев биосферы, в том числе – на человека.

Для количественной оценки величины накопления конкретного элемента в окружающей среде предложены различные показатели техногенеза: *технофильность* (Перельман, 1975), *коэффициент техногенной миграции*, *техногенность*, под которой понимается либо доля техногенного элемента от валового его содержания в фоновых почвах – *коэффициент концентрации элемента* (Перельман, Касимов, 1999), либо в почвообразующей породе – *коэффициент радиальной дифференциации* (Гаврилова, Касимов, 1989).

Система геохимических наблюдений, оценки и прогноза изменений окружающей среды получила название геохимического мониторинга (Перельман, 1989). Задачи геохимического мониторинга во многом пересекаются с задачами экологического мониторинга как системы регулярного неограниченного в пространстве и во времени контроля состояния экосистемы на всех уровнях ее организации (Мотузова, Безуглова, 2007). Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным были сформулированы основные задачи почвенного мониторинга (2006).

Важнейшее место в программе почвенного мониторинга принадлежит выбору контролируемых показателей, от которого зависит эффективность всей дальнейшей работы. Одним из них является показатель, характеризующий *содержание кислоторастворимых соединений контролируемых элементов* (по Мотузовой, 2001; Мотузовой, Безугловой, 2007) называемый также “условно-валовое содержание химических элементов”. Применение в качестве реагентов разбавленных растворов минеральных кислот позволяет перевести в раствор основную часть соединений

химических элементов техногенного происхождения.

*Загрязнение почв* – это антропогенное накопление в почве токсических и вредных веществ и организмов, вызывающих деградацию или деструкцию почвенного покрова, изменение морфологии, состава микрофлоры почв, ухудшение физико-химических и химических свойств почв, снижение плодородия почв, биопродуктивности, технологической, питательной, гигиеническо-санитарной ценности выращиваемых культур и качества других контактирующих с почвами природных сред (Большаков, 1978).

В литературе описано уменьшение содержания гумуса в сильно и длительно загрязненных почвах вследствие деградации его в результате мобилизации металлами (Минкина и др., 2006). Накапливаясь в почве, тяжелые металлы также оказывают существенное влияние на развитие почвенных организмов (Колесников и др., 2009) и растительности (Ладонин, Пляскина, 2004).

Тяжелые металлы в почве могут входить в состав литогенных, педогенных и техногенных частиц. К настоящему времени установлены основные механизмы закрепления тяжелых металлов в твердой фазе почвы (по Водяницкому, 2005).

Среди факторов, обуславливающих распределение в почвенном профиле тяжелых металлов, указываются кислотно-основные и окислительно-восстановительные условия среды, минералогический состав, содержание глинистой фракции, органическое вещество и отдельные его формы (Манская, Дроздова, 1964; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Мотузова, 1999; Morin et al., 1999; Ильин, Сысо, 2001; Кашин, Иванов, 2002; Ладонин, 2003; Караванова, Шапиро, 2004; Пинский, Золотарева, 2004; Добровольский, 2004; Панин, Сиромлей 2005).

Глобальное загрязнение заключается в том, что соединения тяжелых металлов (ТМ) и других поллютантов, входящие в состав наиболее тонких частиц аэрозолей (микронные и субмикронные), поступают в верхние слои атмосферы и переносятся на большие расстояния, измеряемые тысячами километров. Именно глобальное рассеивание элементов привело к тому, что в настоящий момент на поверхности суши планеты не осталось эталонных ландшафтов с изначальным естественным геохимическим фоном. В современных условиях общепланетарного загрязнения фоновый уровень содержания химических элементов в природных средах формируется уже как сумма естественного их содержания почвах, а также их поступления за счет дальнего переноса. Таким образом, так называемые “фоновые” показатели содержания загрязняющих веществ в реальности оказываются завышенными на некоторую неизвестную величину. Без определения

содержания элементов в окружающей среде, которое было до глобального и регионального (то есть фоновое) загрязнения, невозможно оценить уровень современного техногенного загрязнения. Локальное и региональное загрязнение почв техногенными соединениями происходит на некотором расстоянии от источника загрязнения. Размер и форма ареала при этом зависят от множества факторов: климатических условий, рельефа местности, состава горных пород, технологических параметров производства и др.

Кроме традиционных методов геохимического мониторинга при этом могут быть использованы специфические приемы и объекты. Так, О.П. Добродеев предложил использовать в качестве фона содержание элементов в глубоких горизонтах верховых торфяников, возраст которых можно датировать. Были также предложены способы определения содержания тяжелых металлов в растениях из гербариев, анализ волос и костей человека и животных, а также льдов, старых вин и др. Ю.Н. Водяницкий предлагает использовать для данных целей музейные образцы почв. Такой подход к оценке уровня глобального загрязнения А.И. Перельман предложил называть *историческим биомониторингом*.

В системе геохимического мониторинга окружающей среды, в частности – ее почвенного компонента, резко обозначилась следующая проблема – отсутствие надежных эталонных почв для оценки уровня современного загрязнения почвенного покрова (в том числе – глобального) тяжелыми металлами и металлоидами. С этой целью авторами предлагается изучение уровня накопления элементов в древних погребенных почвах, надежно изолированных от современных воздействий окружающей среды, в том числе – от антропогенных и техногенных. В дальнейшем результаты проведенных исследований будут сравниваться с современными почвами для выявления объективной техногенности каждого конкретного элемента. Очень важно, чтобы изучаемые современные и древние почвы формировались в одних и тех же природно-климатических условиях и на одних почвообразующих породах, что позволит сделать корректные сравнения.

Информация о содержании тяжелых металлов в почвах в прошлом может быть использована для перехода от санитарно-гигиенического нормирования содержания загрязняющих веществ в почвах к экологическому. Данная необходимость обусловлена тем, что существующие санитарно-гигиенические нормативы качества почв не лишены недостатков, наиболее важным из которых является неопределенность в определении понятия ПДК химических веществ. В настоящее время, чтобы оценить степень загрязнения почв тяжелыми металлами, используется эмпирическая зависимость:  $ПДК =$

(3-5) · фон (Государственный доклад..., 2008). Предельно допустимая концентрация элемента (ПДК) оказывается равной фоновому содержанию, помноженному на средний коэффициент 4. Главный недостаток данного подхода в том, что величина ПДК напрямую зависит от фонового значения, в котором нельзя быть твердо уверенным. Предлагаемая методика позволит решить некоторые вопросы экологического нормирования.

На этапе проработки и обоснования методического подхода к изучению геохимических особенностей древних погребенных почв с целью оценки современного загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами были проработаны 55 литературных источников и выявлены следующие моменты:

1. В настоящее время в литературе накоплено еще крайне мало сведений о содержании тяжелых металлов в погребенных почвах. Одна из самых первых работ относится к 1997 году: исследования проводились в подкурганных почвах бронзового века (начало I тысячелетия до н.э.) Самарской области М.И. Дергачевой с соавторами (А.И. Иванов и др., 1997). Авторы отмечают, что аналогов в проведении работ подобного рода на момент исследования не были известны ни в России, ни за рубежом. Другая подобная работа была проведена на лесостепных почвах в Челябинской области Г.И. Махониной и С.А. Махневой (2001). Исследования проводились также на подкурганных почвах бронзового века (возраст курганов около 3 тыс. лет). Зональными типами почв являлись черноземы выщелоченные. Имеющиеся публикации по данной проблеме имеют пионерный характер, позволяя лишь оценить перспективы данного метода.

2. Метод использования погребенных почв в качестве фоновых имеет границы применения. Разные элементы имеют разную способность к накоплению в гумусовых горизонтах, в связи с чем необходимо учитывать множество факторов, которые могут влиять на миграцию соединений микроэлементов: геохимические характеристики природной зоны, сопряженность ландшафта, тип водного режима, гранулометрический состав почв и почвообразующих пород, кислотность почв, количество органического вещества в почвах и его качественный состав, химические свойства самих элементов.

3. Наилучшими объектами для применения данного методического подхода являются автоморфные почвы автономных ландшафтов с полупромывным или непромывным водным режимом, с большими запасами органического вещества, гумус которого преимущественно представлен гуматным типом, с близким к нейтральному pH почвенного раствора.

4. Определен район исследований: преимущественно степная и лесостепная зона с черноземными почвами, наиболее полно отвечающими вышеизложенным условиям.

Также планируется проведение работ в подзоне южной тайги на дерново-подзолистых почвах, при этом будет применен особый подход к интерпретации результатов.

5. Определен перечень изучаемых элементов (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, As), которые рассматриваются как основные загрязнители современных почв. Они интенсивно накапливаются на геохимическом барьере, в качестве которого выступает гумусовый горизонт почв автоморфных ландшафтов.

Запланировано специально подобрать хроноряды, погребенные в течение последних 3,5 тысяч лет для определения содержания в них тяжелых металлов с целью установления степени техногенного загрязнения.

## 2. Аннотированная справка по научным результатам НИР, полученным на II этапе

Одна из актуальнейших проблем геохимического мониторинга – определение фоновых уровней содержания элементов в окружающей среде: только на его основе возможно оценить степень локального или регионального техногенного загрязнения. Но эти показатели могут называться фоновыми лишь условно вследствие глобального рассеивания химических элементов, достигающего тысячи километров от источников выбросов. Локальное и региональное загрязнение почв техногенными соединениями происходит на некотором расстоянии от источника загрязнения. Размер и форма ареала при этом зависят от множества факторов: климатических условий, рельефа местности, состава горных пород, технологических параметров производства и др.

В системе геохимического мониторинга окружающей среды, в частности – ее почвенного компонента, резко обозначилась следующая проблема – отсутствие надежных эталонных почв для оценки уровня современного загрязнения почвенного покрова (в том числе – глобального) тяжелыми металлами и металлоидами. Предлагается в качестве фоновых почв использовать древние погребенные почвы, надежно изолированные от современных воздействий окружающей среды, в том числе – от антропогенных и техногенных.

В рамках выполнения II этапа работ проведены полевые экспедиционные работы в Барнаульском Приобье, Курганской и Свердловской областях: проведено геоботаническое описание ландшафтов, изучены морфологически и отобраны образцы антропогенно неизменных погребенных горизонтов вблизи крупных курганов, также изучены погребенные пойменные и городские почвы.

Аналитическому исследованию были подвергнуты почвенные образцы следующих археологических памятников разных природных зон Урала, Зауралья и Западной Сибири, функционирующих 2300 - 6000 лет назад (с бронзового века по палеолит):

Природная зона (подзона)	Объект	Возраст
Настоящая степь	поселение "Каменный Амбар" (Челябинская обл.)	бронзовый век (3,5-4,0 тыс. л.н.)
Южная лесостепь	поселение "Степное" (Челябинская обл.)	бронзовый век (3,5-4,0 тыс. л.н.)
Северная лесостепь	Казакбаевское городище (Челябинская обл.)	железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.)

Южная тайга	обл.) поселение "Кокшаровские холмы" (Свердловская обл.)	тыс. л.н.) мезолит-неолит
Средняя тайга	поселение вблизи пос.Советский (ХМАО)	неолит, 6 тыс. л.н.

В рамках выполнения II этапа работ подготовлено и проанализировано на содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Fe) 40 почвенных образцов, включающих в себя погребенные и дневные гумусовые горизонты почв, а также образцы, характеризующие почвообразующие породы. Аналитические исследования почв указанных объектов включали в себя определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом. Кроме того, на содержание микроэлементов проанализированы препараты гуминовых кислот, выделенные из погребенных и дневных почв. Дана предварительная оценка уровня содержания тяжелых металлов в погребенных почвах; выявлено содержание ТМ в органическом веществе погребенных почв; дана сравнительная характеристика содержания ТМ в погребенных почвах, а также в аналогичных современных дневных относительно незагрязненных (ненарушенных, "фоновых") почвах.

Выполнены физико-химические исследования имеющегося в наличии почвенного материала.

В 2010 году указанные работы проведены на следующих объектах:

Природная зона (подзона)	Объект	Возраст
Южная лесостепь	поселение "Степное" (Челябинская обл.)	бронзовый век (3,5-4,0 тыс. л.н.)
Северная лесостепь	Павлиново городище (Курганская обл.)	железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.)
Южная тайга	поселение "Коловское" (Тюменская обл.)	средневековые – бронзовый век
Средняя тайга	поселение вблизи г. Советский (ХМАО)	палеолит, 6 тыс. л.н.

Дана общая агрохимическая характеристика современных и погребенных почв по следующим показателям: общий углерод, содержание карбонатов, доступные растениям

соединения фосфора и калия, сумма обменных оснований  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , кислотность водной и солевой вытяжек, гранулометрический состав, качественный (групповой и фракционный) состав гумуса, оптические свойства гуминовых кислот (ГК). Это было необходимо, прежде всего, для установления сходства и различий современных и погребенных почв по условиям их формирования: проведение сравнительных характеристик микросостава возможно только при условии однотипности генезиса данных почв.

В результате проделанной работы сделаны некоторые общие предварительные выводы:

1. В большинстве случаев в изучаемых антропогенно нарушенных почвах (главным образом – фортификационных валов городищ) морфологически хорошо фиксируются погребенные гумусовые горизонты почв.

2. Эти же горизонты хорошо дифференцируются и с помощью химических показателей: в них обнаруживается повышенное содержание органического углерода, повышенные количества подвижных элементов (калия, фосфора, натрия), а также – кальция и в некоторых случаях – карбонатов.

3. Морфологические и физико-химические показатели, а также сравнительные характеристики гумусного состояния и качественного состава гумуса погребенных и современных голоценовых почв, указывают на то, что изучаемые современные и древние почвы формировались в одних и тех же природно-климатических условиях и на одних почвообразующих породах, что позволит сделать корректные сравнения содержания в них ТМ.

4. Погребенные горизонты, оказывающиеся в профильном распределении в непосредственной близости от КС, характеризуются повышенным загрязнением антропогенным веществом. По-видимому, такие почвы нельзя принимать за фоновые при сравнительном анализе содержания в них ТМ, а их необходимо рассматривать как особые природно-исторические тела, сохраняющие в себе отпечаток деятельности древнего человека.

5. Наиболее относительно чистыми в химическом отношении и с морфологически ненарушенной структурой оказываются погребенные почвы: а) под древними курганами и ритуальными валами вблизи них; б) естественно погребенные почвы речных пойм; в) доголоценовые (плейстоценовые) почвы.

6. Проведенная сравнительная оценка содержания ТМ в минеральных горизонтах погребенных и дневных почв не позволила выявить каких-либо достоверных различий в



изучаемых районах, что можно объяснить удаленностью их от основных загрязнителей. Можно только отметить отдельные случаи повышенных количеств Fe, Zn, Cr, Mn в дневных почвах таежных почв.

7. На гуминовые кислоты черноземных почв приходится не более 20-30 % от общего содержания всех имеющихся в почве ТМ.

Таким образом, верхние минеральные горизонты дневных почв, удаленных от основных источников загрязнения, по нашим данным, практически не подвержены влиянию глобального атмосферного загрязнения и наряду с погребенными могут считаться фоновыми для этих территорий. В то же время необходимо отметить, что несмотря на это, локальное и региональное техногенное загрязнение может проявляться в больших масштабах.

Влияние глобального переноса ТМ обнаруживается лишь в верхних органогенных или органо-минеральных горизонтах (лесной опад, дернина и степной войлок). Именно в этих горизонтах происходит основная аккумуляция ТМ техногенного происхождения и им в дальнейшем будет уделено особое внимание.

### **3. Аналитический отчет о проведении теоретических и (или) экспериментальных исследований III этапа**

В рамках выполнения III этапа работ были выполнены следующие исследования:

6. Проведены полевые экспедиционные работы в Барнаульском Приобье и Челябинской области (поселение Каменный Амбар): проведено геоботаническое описание ландшафтов, изучены морфологические особенности и отобраны образцы погребенных горизонтов, культурного слоя, фоновых почв.

7. Была завершена аналитическая работа по более чем 200 почвенным образцам изучаемых археологических и природных объектов. Дана общая агрохимическая характеристика современных и погребенных почв по следующим показателям: общий углерод, содержание карбонатов, доступные растениям соединения фосфора и калия, сумма обменных оснований  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , кислотность водной и солевой вытяжек, гранулометрический состав, качественный (групповой и фракционный) состав гумуса, оптические свойства гуминовых кислот (ГК). Это было необходимо, прежде всего, для установления сходства и различий современных и погребенных почв по условиям их формирования: проведение сравнительных характеристик микросостава возможно только при условии однотипности генезиса данных почв.

8. Выполнено микроэлементное исследование 60 почвенных образцов. Определено содержание 9 микроэлементов: кобальта, кадмия, хрома, цинка, марганца, никеля, меди, железа, свинца в погребенных и дневных почвах разных природно-климатических зон.

9. Произведен сравнительный анализ агрохимического и микроэлементного состава изучаемых почв. Выявлены уровни содержания ТМ в погребенных почвах в разных природно-климатических зонах. Построены хроноряды изменения содержания ТМ в почвах на протяжении исторического времени. Определена степень современно загрязнения дневных фоновых почв вследствие глобального переноса загрязнителей. Определены уровни техногенности изучаемых элементов, дана оценка объективному расчету уровня ПДК и ОДК содержания ТМ в почвах. Даны рекомендации по использованию результатов НИР в природоохранной деятельности и в учебной работе.

10. Результаты НИР доложены на конференциях и опубликованы в виде материалов и тезисов; имеются две публикации в изданиях ВАК.

## Результаты и обсуждение

Ниже приводится подробное изложение полученных данных по разным природно-климатическим зонам.

### 3.1. Средняя тайга.

Почвы средней тайги были охарактеризованы на археологическом объекте, расположенном вблизи пос. Советский (ХМАО) и датируемом палеолитом (около 6 тыс. л.н.). Полевые исследования на данном объекте были проведены в 2007 и 2010 гг, аналитические исследования – в 2010-2011 гг.

#### 3.1.1. Морфология почв.

Описание морфологического строения почвенных профилей дневных и погребенных почв было приведено в отчете 2010 года.

#### 3.1.2. Физико-химическая характеристика почв.

Значения pH водной вытяжки (табл. 3.1.2.1) в фоновой почве изменяются по почвенному профилю в достаточно широких пределах: от 4,4-4,5 в верхних горизонтах (сильнокислая реакция) до 5,6-6,0 в нижних горизонтах (слабокислая реакция).

Таблица 3.1.2.1.

Характеристики вещественного состава современной и погребенной почвы  
вблизи пос. Советский

Гори- зонт	Глубина, см	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	C <sub>общ.</sub> , %	Сумма ГК	ФК1а	Сумма ФК	C <sub>ГК</sub> /C <sub>ФК</sub>
Фоновая почва								
A <sub>0</sub>	0-2(5)	4,5	4,0	33,66	4,7	1,9	8,6	0,5
A <sub>2</sub> затек	2(5)-	4,4	4,3	0,14	29,7	20	42,0	0,7
A <sub>2</sub>	2(5)-	4,3	3,9	0,09	27,3	32,2	66,5	0,4
B <sub>1</sub>	13(20)-	4,5	4,4	0,19	12,8	44,2	72,3	0,2
B <sub>2</sub>	17-27	4,9	4,4	0,14	17,5	43,6	63,8	0,3
B <sub>2</sub>	27-37	5,9	5,3	0,11	15,8	31,8	53,0	0,3
B <sub>2</sub>	37-47	5,9	5,4	0,09	19,8	28,8	46,2	0,4
BC	47-60	6,0	5,6	0,08	21,4	32,5	44,8	0,5
C	60-70	5,6	5,6	0,08	10,2	27,5	40,1	0,2
Погребенная почва								
[A <sub>0</sub> A <sub>2</sub> ]	0-5	5,2	5,2	0,11	31,8	22,7	48,1	0,6
[A <sub>0</sub> A <sub>2</sub> ]	5-8(13)	5,7	5,2	0,10	25,2	33,0	42,7	0,6
[B <sub>1</sub> ]	8(13)-18	5,5	5,2	0,11	20,8	26,3	42,2	0,5
[B <sub>2</sub> ]	18-25(30)	5,3	5,1	0,09	10,2	30,0	55,7	0,2
[C]	25(30)-35	5,5	5,4	0,08	10,9	32,5	57,5	0,2

В погребенной 6 тысяч лет назад почве данный показатель лежит в области более высоких значений, соответствующих кислой-слабокислой реакции и изменяется от 5,2 до 5,7. Показатель потенциальной кислотности во всех почвенных образцах, кроме одного, имеет более низкие значения по сравнению со значениями актуальной кислотности.

Содержание общего углерода (табл. 1) в современной почве носит резкоубывающий характер, в погребенной почве имеет близкие значения во всех почвенных горизонтах и составляет доли %. Тип гумуса обеих почв совпадает и соответствует в большинстве образцов фульватному. Суммарное содержание гуминовых и фульвокислот близко в соответствующих горизонтах сравниваемых почв. В составе фульвокислот (ФК) преобладает фракция агрессивных ФК, содержание которой в фоновой почве максимально в горизонте В<sub>1</sub> и составляет 44,2 % от общего углерода, в погребенной почве на ее долю приходится от 22,7 до 32,5 %.

Отношение оптических плотностей гуминовых кислот  $E_{465}/E_{650}$  имеет близкие значения для суммы ГК первой и второй фракции и ГК третьей фракции в современной и погребенной почве, что означает сходное соотношение ядерной и периферической частей макромолекул в изучаемых почвах.

Таким образом, на основании близких значений содержания гуминовых и фульвокислот в составе гумуса, фульватного типа гумуса, сходства коэффициентов цветности гуминовых кислот в изучаемых почвах можно сделать вывод, что биоклиматические условия формирования функционировавшей 6000 лет назад почвы были близки к условиям, в которых формируется современный подзол иллювиально-железистый.

### **3.1.3. Содержание тяжелых металлов.**

Диаграмма, отражающая накопление ТМ в дневных и погребенных почвах, представлена на рис.

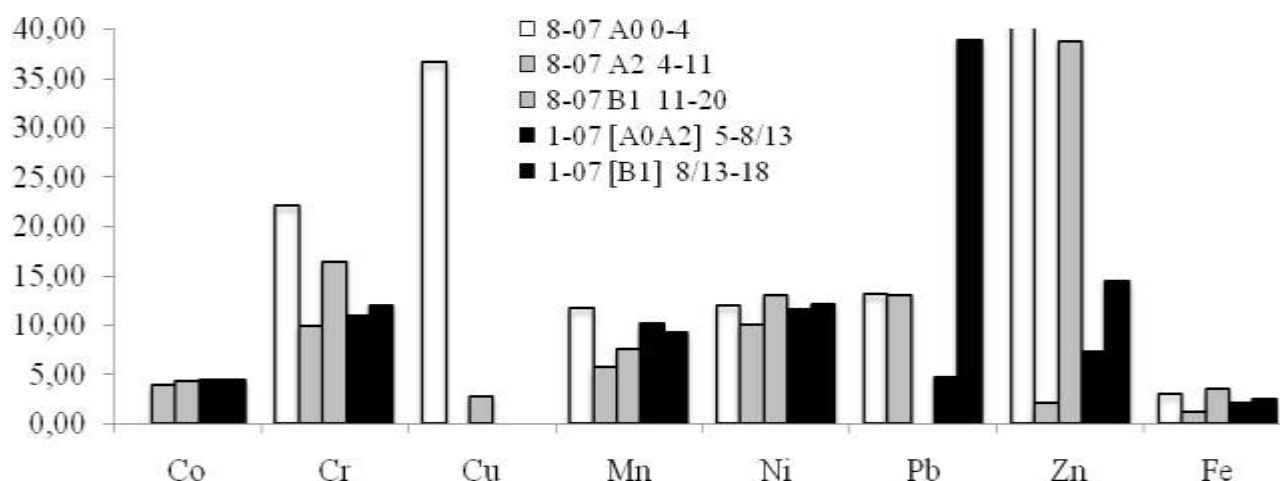


Рис. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) почв, мг/кг почвы. мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).

Поселение вблизи г.Советский (палеолит, 6 тыс. л.н.).

Большинство исследуемых элементов распределено по профилю фонового подзола иллювиально-железистого сходным образом: максимальные количества приурочены к горизонту подстилки, в подзолистом горизонте их содержание минимально, в горизонте В наблюдается увеличение концентрации. Такое элювиально-иллювиальное распределение в целом характерно для многих веществ в данном типе почв и выявлено для следующих ТМ: Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, Fe. В горизонте подстилки содержание Mn составляет 117 мг/кг, количество Cu несколько превышает ОДК для песчаных и супесчаных почв, концентрация Zn составляет 198,0 мг/кг, что соответствует более чем трехкратному превышению ОДК.

Для Co наблюдается увеличение концентрации с глубиной почвенного профиля, для Pb, наоборот, уменьшение содержания с глубиной, содержание Cd не превышает 0,1 мг/кг почвы.

В погребенном 6 тыс. лет назад подзоле также наблюдается накопление ТМ в иллювиальном горизонте по сравнению с трансформированным горизонтом [A<sub>0</sub>A<sub>2</sub>] для следующих элементов: Cr, Ni, Pb, Zn, Fe. Четыре из них за исключением Pb имеют сходный характер распределения в соответствующих горизонтах дневной почвы. Содержание Mn убывает с глубиной, Co, Cu и Cd распределены по почвенному профилю древней почвы достаточно равномерно. Небольшое превышение ОДК в погребенной почве имеется в горизонте [B<sub>1</sub>] по Pb.

Таким образом, по большинству исследуемых ТМ дневная и погребенная почва являются незагрязненными, исключение составляет Zn, содержание которого в органическом горизонте фоновой почвы превышает ОДК более чем в 3 раза.

### **3.2. Южная тайга.**

В указанной природно-климатической зоне почвы охарактеризованы на примере поселения «Кокшаровские холмы» (Свердловская обл.) и погребенных гумусовых горизонтов в центре Екатеринбурга.

#### **3.2.1. Морфология почв.**

Поселение «Кокшаровский холм». Разрез № 12 заложен на склоне, на поселении, на нижней трети склона. Общая глубина разреза 100 см.

A1 (0-12 см). Серый, с оттенком коричневого, гумусовый горизонт. Рыхлый, влажный, много корней. Структура мелкокомковатая. Переход к следующему горизонту постепенный, по цвету.

B (12-28 см). Коричневый, влажный, корней меньше. Переход к нижележащему горизонту постепенный, по цвету. Непрочно-комковатая структура.

[A]<sub>1</sub> (28-38 см). Темно-коричневый погребенный гумусовый горизонт. Сходен с горизонтом A дневной почвы. Корней меньше, рыхлый, встречается галька диаметром около 1 см. Переход к нижележащему горизонту заметен, по цвету, граница ровная.

[A]<sub>2</sub> (38-57 см). Темный, серый, почти черный второй погребенный гумусовый горизонт. Рыхлый, глинистый, мелкие корни, структура мелко-комковатая, непрочная. Нижняя граница на одной стенке резкая. На других стенках нижняя граница перемешана с нижним горизонтом отчетливыми пятнами. Встречены артефакты.

[B] (57-70 см). Светло-коричневый с желтоватым оттенком, мелко-ореховатая структура, много гальки, плотный, влажный, граница перехода резкая.

BC (70-100 см). Глеевый, светло-серый, сизоватый, мелко-комковатая структура, плотный. Глубже 100 см – грунтовые воды.

Разрез № 13 заложен в 40 м на северо-восток от холма. Имеет сложное строение. Существует предположение, что с этого места срезались два верхних горизонта, в результате почвообразование шло на горизонте B. Позже на эту почву была сделана насыпь из горизонта A1.

A (0-8 см). Темно-серый гумусовый горизонт. Рыхлый, непрочная мелко-комковатая структура. Переход к нижележащему горизонту заметен по цвету.

B<sub>1</sub> (8-18 см). Светло-серый, с отдельными включениями угля, керамики, более плотный, менее насыщенный корнями. Граница перехода к следующему горизонту по цвету, ровная. В нижней части горизонта встречена галька.

[A] (18-22 см). Темно-серый гумусовый погребенный горизонт. Рыхлый, корней мало, граница перехода постепенная, по цвету.

[A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>] (22-30 см). Светло-коричневый погребенный переходный горизонт с мелкими языками гумуса. Плотный, вязкий, сырой, замечен переход к другому горизонту по усилению интенсивности коричневого цвета.

[B] (30-57 см). Коричневый, плотный погребенный иллювиальный горизонт. Влажный, ореховатая структура, граница перехода заметна по цвету.

BC (57-80 см). Сизоватый с коричневатыми прослойками, вязкий, плотный, влажный, ореховатая структура.

Разрез № 14 заложен на склоне, на границе холма и поселения, на уровне 12 разреза.

A (0-14 см). Темно-серый гумусовый горизонт. Влажный, вязкий, насыщен корнями, граница перехода ровная, по цвету.

[A] (14-20 см). Более темный погребенный гумусовый горизонт. Рыхлый, много корней, встречаются угли, граница перехода постепенная, по цвету.

[A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>] (20-27 см). Более светлый, влажный, рыхлый, язычки гумуса, граница перехода постепенная, по цвету.

[B<sub>1</sub>] (27-40 см). Светло-коричневый, вязкий, граница перехода постепенная, по цвету.

[A]<sub>2</sub> (40-85 см). Темный, второй погребенный гумусовый горизонт, граница перехода резкая по цвету. Наличие керамики.

### **3.2.2. Физико-химическая характеристика почв.**

Ниже представлены результаты физико-химических анализов почв на поселении «Кокшаровский холм».

Таблица 3.2.2.1

## Физико-химическая характеристика почв поселения «Кокшаровский холм»

Горизонт	Глубина, а, см	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Гумус, %	Гидр. к- ть, мг-	COO , мг-	C, %	N, %	C/N
Разрез № 12												
A <sub>1</sub>	0-12	5.50	4,50	8,5	8,8	25,00	10,55	23,02	33,0	6,12	0,34	18,00
B	12-18	5.52	3,97	5,5	6,9	56,75	5,40	18,42	24,6	3,15	0,186	16,94
[A] <sub>1</sub>	28-38	5.55	4,08	7,0	2,0	57,25	1,56	17,89	32,6	0,91	0,11	8,27
[A] <sub>2</sub>	38-57	5.95	4,23	11,5	2,2	58,25	4,43	18,77	30,0	2,57	0,18	14,28
[B]	57-70	5.79	3,86	14,5	8,4	58,25	1,24	14,12	18,8	0,72	0,09	-
BC	70-100	5.34	3,89	18,0	7,8	43,00	0,15	12,75	20,6	0,09	0,00	-
Разрез № 13												
A	0-8	7.22	5,66	36,0	14,8	44,5	5,22	17,71	61,75	3,03	0,30	10,1
B <sub>1</sub>	8-18	5.88	4,46	11,0	5,8	32,25	4,8	14,12	27,8	2,79	0,20	13,95
[A]	18-22	6.25	5,05	11,0	5,0	13,25	4,89	7,97	28,2	2,64	0,26	10,92
[A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> ]	22-30	5.97	4,60	7,5	6,0	44,50	4,43	7,97	16,6	2,57	0,13	19,76
[B]	30-57	5.56	4,09	16,5	9,4	41,5	5,35	9,39	18,2	3,1	0,19	16,32
BC	57-80	5.36	3,57	9,5	8,0	15,75	0,72	11,07	27,2	0,32	0,01	32,00
Разрез № 14												
A	1-14	5.90	4,58	11,5	3,8	44,50	6,72	16,82	33,0	3,90	0,18	21,60
[A]	14-20	6.01	4,62	16,5	6,6	50,00	5,12	17,44	33,4	2,97	0,28	10,61
[A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> ]	20-27	5.91	4,46	6,5	6,6	57,25	1,20	13,50	31,4	0,70	0,10	7,00
[B <sub>1</sub> ]	27-40	6.09	4,11	7,0	6,2	51,00	0,75	13,99	28,4	0,44	0,04	11,00
[A] <sub>2</sub>	40-85	6.02	4,29	18,0	3,96	46,25	4,87	16,38	41,2	2,83	0,20	14,15

В исследуемых нами почвах профильное распределение величины pH актуальной кислотности имеет сложный профильный ход и различен в разных почвенных профилях. В 13 разрезе кислотность верхних дневных почв увеличивается вглубь почвенного профиля; в разрезах 12 и 14 кислотность увеличивается по направлению от нижнего горизонта к верхнему. Исходя из данных, полученных в результате анализа, можно отметить, что исследуемые почвы по величине pH (KCl) относятся к очень сильнокислым, сильнокислым и среднекислым. На границе профилей заметно изменение величины pH в сторону уменьшения кислотности.

В исследуемых нами почвенных разрезах гидролитическая кислотность на границе раздела двух почвенных профилей изменяется скачкообразно, при этом максимальные значения наблюдаются в дневных, насыпных почвах и приурочены к верхним горизонтам. В погребенных почвах (за исключением 13 разреза) гидролитическая кислотность



увеличивается по направлению от нижних горизонтов к верхним. В разрезе 13 наблюдается обратная картина – увеличение гидролитической кислотности идет от верхних горизонтов погребенных почв к нижним.

Во всех почвенных разрезах наблюдается высокое содержание фосфора. По общей обеспеченности калием исследуемые почвы можно отнести к почвам со средним, повышенным и высоким содержанием этого элемента. Содержание калия меняется на границе раздела почвенных профилей. Содержание гумуса в погребенных почвах в исследуемых нами разрезах достаточно близко: в горизонте А колеблется от 4,8 до 5,4 %, хотя мощности погребенных гумусовых горизонтов везде различны. Наибольшая мощность гумусового горизонта в 12 разрезе приурочена к позиции нижней трети склона, наиболее пониженной на данной территории. Доказательством тому, что погребенные почвы является именно погребенными, а не вторыми гумусовыми горизонтами существующих почв, является нахождение в профиле этих почв археологических находок.

Значения суммы обменных оснований в исследуемых почвах достаточно велико и колеблется в пределах от 11,20 до 61,75 мг-экв/100 г почвы. Этот показатель, также как и другие на границе разделов двух почвенных профилей, скачкообразно закономерно изменяется.

Погребенная почва в г. Екатеринбурге была обнаружена в строительном котловане глубиной 320 см по ул. Чапаева, напротив библиотеки им. Герцена. Сверху исследуемая почва была перекрыта 1,5 метровой современной многослойной насыпью. Ниже приводится описание морфологического строения почвы, активно функционировавшей более 100 лет назад.

Культурный слой – 0-20 см – черно-бурый, структура ореховато-плитчатая, средний суглинок, включения костей, обломков кирпича, переход по окраске резкий, граница ровная.

[A<sub>1</sub>] – 20-45 см – буро-черный, структура плитчато-мелкокомковатая, средний суглинок, переход по окраске резкий, граница ровная.

[A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>] – 45-60 см – серо-бурый, структура ореховато-плитчатая, средний суглинок, переход по окраске ясный, граница ровная.

[B<sub>1</sub>] – 60-100 см – бурый, структура призматическая, средний суглинок, новообразования железомарганцевых конкреций, переход по плотности ясный, граница ровная.

[B<sub>2</sub>] – 100-150 см – бурый, более яркий, плотный, структура призматическая, средний суглинок, новообразования железомарганцевых конкреций, переход постепенный, граница неясная.

[C] – 150-170 (в пределах видимости) см – светло-бурый, бесструктурный средний суглинок.

Таким образом, профиль погребенной около 100 лет назад почвы по набору генетических горизонтов соответствует серой лесной почве.

### 3.2.3. Содержание тяжелых металлов.

На рис. 3.2.3.1 и 3.2.3.2 представлено содержание ТМ в почвах поселения Кокшаровский холм.

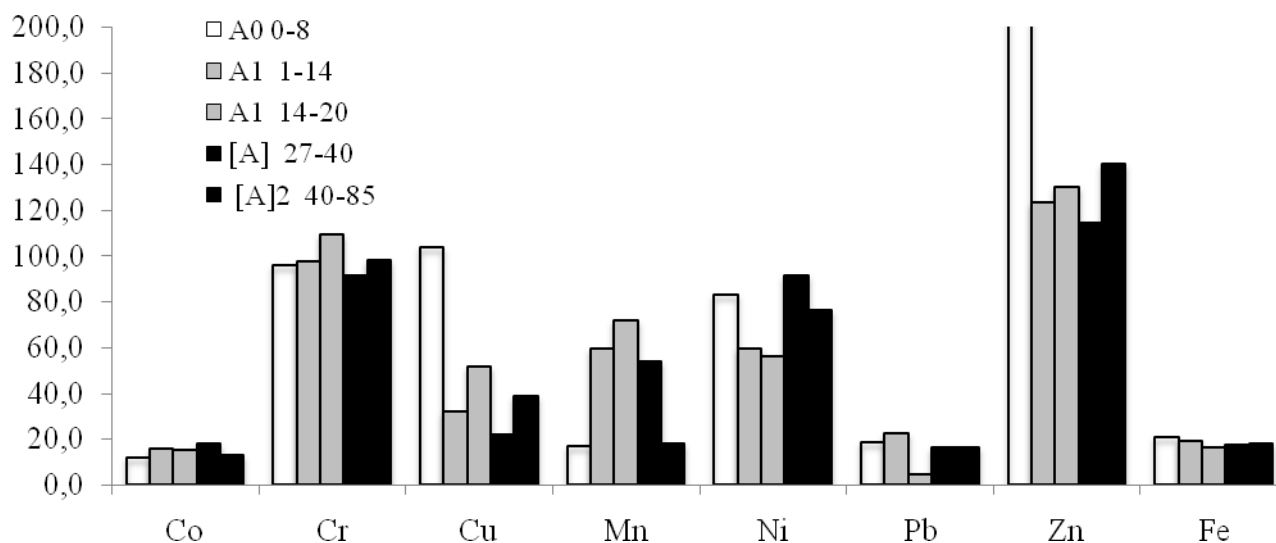


Рис. 3.2.3.1. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г). Поселение "Кокшаровские холмы". Разрез 12-97.

Содержание всех изучаемых ТМ изменяется в близких пределах в погребенных гумусовых горизонтах и в гумусовых горизонтах дневных почв. Повышенные концентрации элементов обнаруживаются в органическом горизонте современной почвы по сравнению с минеральными для Cu (104 мг/кг), Mn (168 мг/кг) и Zn (369 мг/кг). Горизонт подстилki является загрязненным по Cu (превышение ОДК для кислых суглинистых и глинистых почв составляет 1,6 раз) и Zn (превышение ОДК составляет 3,4 раза).

Таким образом, погребенные почвы поселения «Кокшаровские холмы» не загрязнены ни одним из исследуемых ТМ, в дневной же почве констатируется загрязнение Cu и Zn, которые накапливаются в горизонте подстилки.

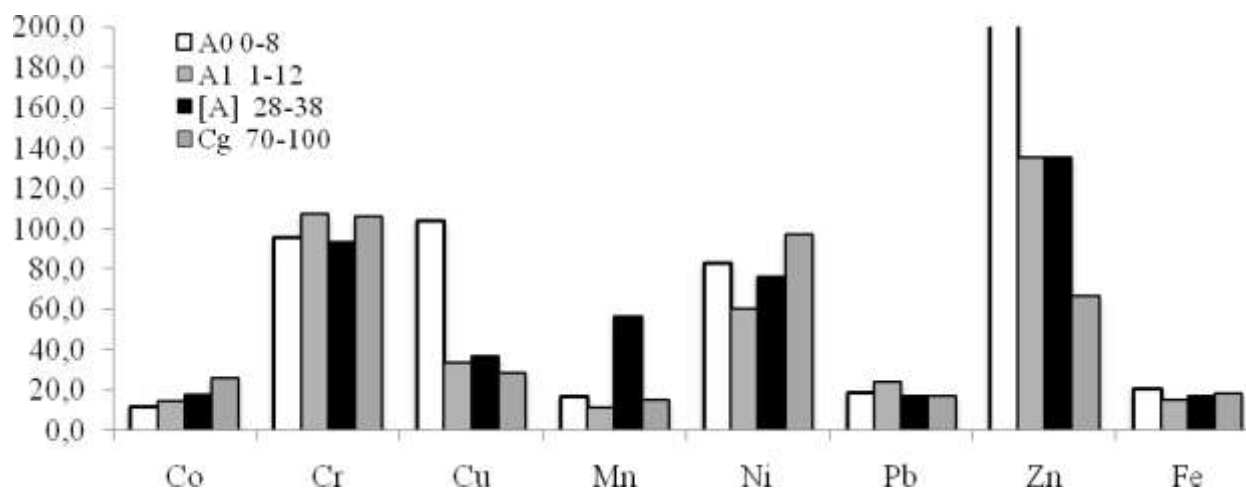


Рис. 3.2.3.2. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Поселение "Кокшаровские холмы". Разрез 14-97.

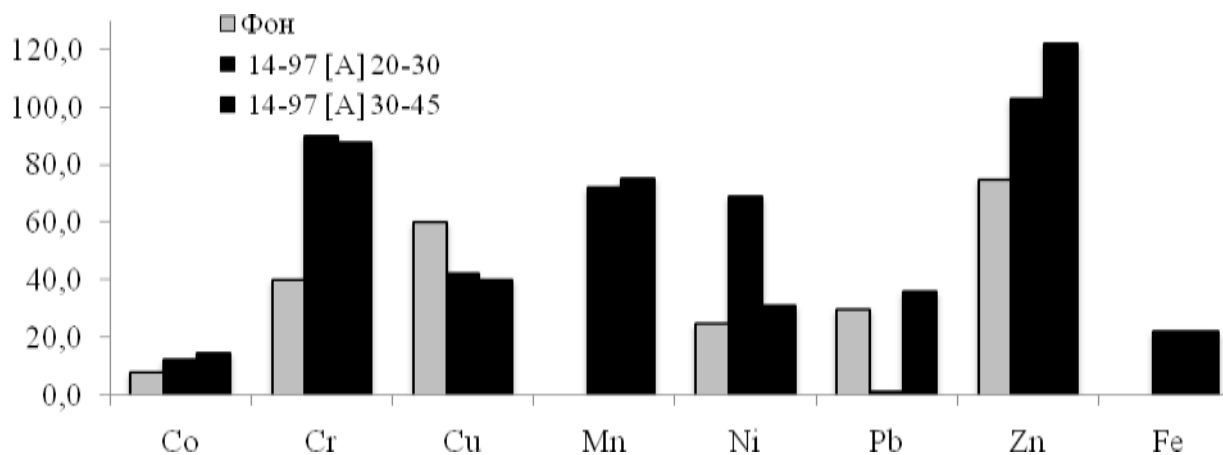


Рис. 3.2.3.3. Содержание ТМ в дневных (серый фон) (по литературным данным) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Город Екатеринбург.

В погребенных гумусовых горизонтах по сравнению с фоновыми почвами Свердловской области (Государственный доклад ..., 2009) прослеживается повышенное

содержание таких элементов как Co, Cr, Ni, Zn, причем для Co и Cr значения превышают ПДК, а для последнего элемента существенно.

Содержание Cu имеет в погребенной почве более низкие значения. Наименьшее количество Pb приурочено к верхней толще гумусового горизонта. Концентрация Mn в погребенной почве изменяется от 723 до 754 мг/кг, Fe составляет 22 мг/кг, что характеризует ее как незагрязненную по этим элементам.

Таким образом, в гумусовых горизонтах погребенной 100 лет назад городской почвы существует значительное превышение содержания одного из исследуемых ТМ – Cr.

### 3.3. Граница южной тайги и лесостепи.

На границе тайги и лесостепи почвы охарактеризованы на поселении "Коловское" (Тюменская обл.) (памятник многослойный, датируется средневековьем и бронзовым веком) и на поселении Усть-Терсукское (Тюменская обл.) (ранний железный век – бронзовый век).

#### 3.3.1. Морфология почв.

Морфологическое описание почв поселений Коловское и Усть-Терсукское приведено в отчете 2010 года.

#### 3.3.2. Физико-химическая характеристика почв.

Характеристика физико-химических свойств почв поселений Коловское и Усть-Терсукское приведено в отчете 2010 года.

#### 3.3.3. Содержание тяжелых металлов.

Количественные данные, отражающие содержание ТМ в почвах поселения Коловское, приведены на рис. 3.3.3.1., поселения Усть-Терсукское – 3.3.3.2.

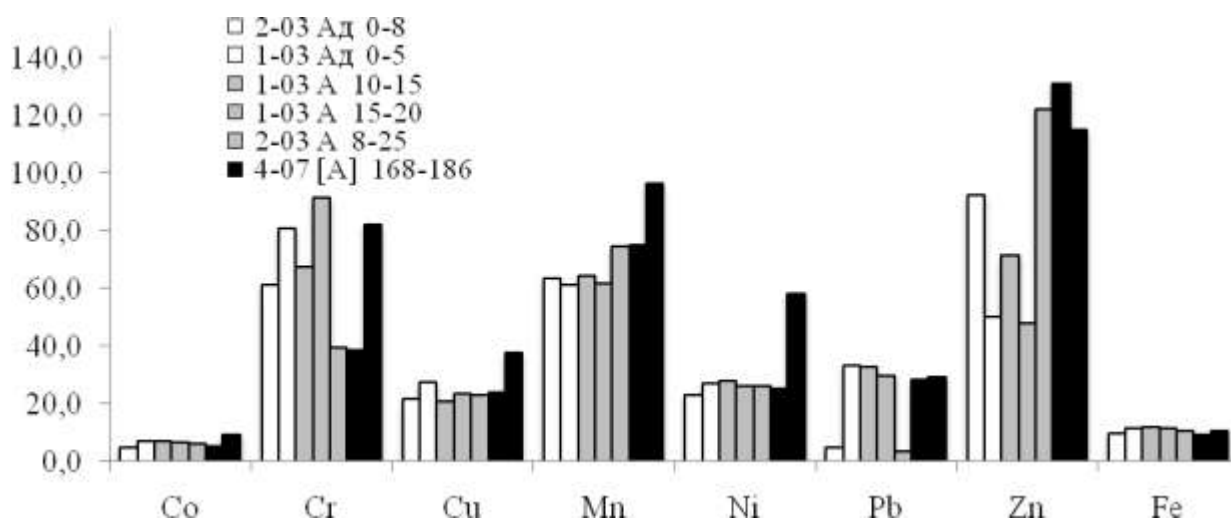


Рис. 3.3.3.1. Содержание ТМ в дернине (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Поселение Коловское.

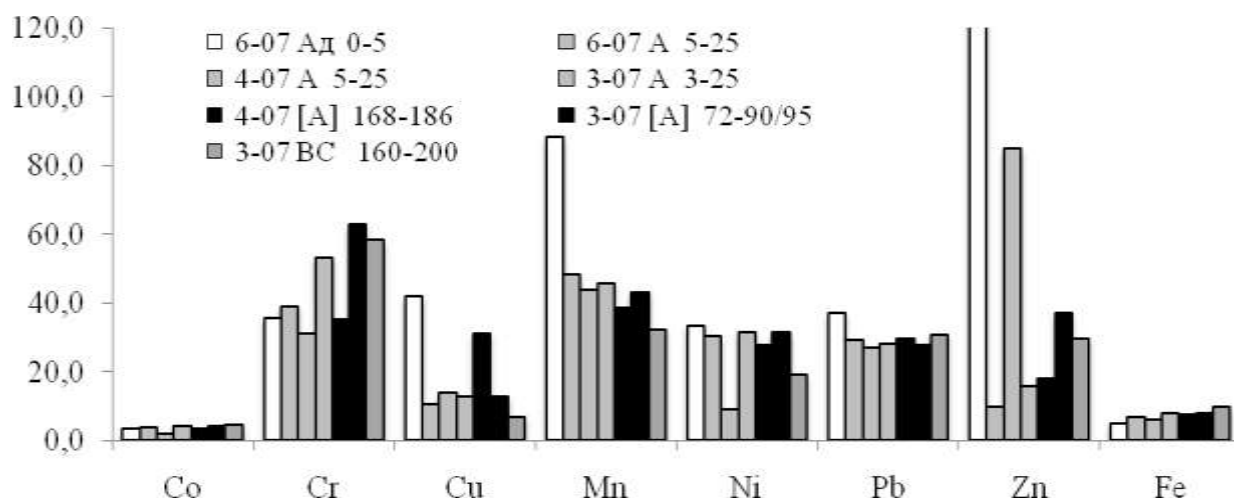


Рис. 3.3.3.2. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Поселение Усть-Терсукское.

В отличие от почв таежной зоны, на переходе к лесостепи нет отчетливого проявления накопления ТМ в верхнем дерновом горизонте (Коловское), тогда как под лесной растительностью большинство ТМ продолжает аккумулироваться главным образом в подстилке (Усть-Терсукское – медь, марганец, никель, цинк, свинец).

Содержание большинства элементов находится в пределах ПДК и ОДК – как в дневных, так и в погребенных почвах. На поселении Коловском обращает на себя внимание повышенное содержание хрома в верхних 8-20 см дневных почв 61,0-91,6 мг/кг против 38,4-44,1 мг/кг почвы в погребенных почвах. В отдельных образцах погребенных почв наблюдаются повышенные количества хрома, меди, цинка, что может объясняться как геохимическими особенностями местных почвообразующих пород, так и дополнительным поступлением этих элементов в результате антропогенной деятельности – изучаемые погребенные горизонты относятся к эпохе бронзы.

Под лесной растительностью (поселение Усть-Терсукское) большинство элементов аккумулируются в лесной подстилке. Так, содержание марганца в гор.А<sub>0</sub> составляет 883,1 мг/кг, в гор.А<sub>1</sub> – 438,1-481,6 мг/кг, в гор.[А] – несколько меньше – 385,4-431,3 мг/кг почвы; никеля в подстилке содержится в количестве 33,5, в гумусовых

горизонтах – 9,0-31,4 мг/кг почвы; свинца - соответственно 37,2 и 27,2-29,2 мг/кг почвы. Отмечено очень высокое содержание цинка в слое 5-25 см дневных почв – до 436,3 мг/кг почвы.

### **3.4. Северная лесостепь.**

Почвы северной лесостепи охарактеризованы на примере следующих археологических объектов: Казакбаевское городище (Челябинская область) – бронзовый век (3,0-3,5 тыс. л.н.); Павлиново городище (Курганская обл.) – ранний железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.).

#### **3.4.1. Морфология почв.**

##### Казакбаевское городище.

Разрез 2. Заложен непосредственно на кургане бронзового века. Ниже приводится описание разреза.

Ад (0-3 см). Плотный, коричневатый, густо переплетён корнями. Переход в следующий горизонт ровный.

А (3-17 см). Плотный, с множеством мелких корней, темно-серый гумусовый горизонт. Структура комковатая. Переход в следующий горизонт заметный.

В<sub>1</sub> (17-26 см). Серый гумусовый горизонт. Плотный, мелких корней меньше, структура комковатая. Переход в следующий горизонт заметный, по изменению цвета.

Насыпь (26-40 см). Плотный неоднородно окрашенный горизонт насыпи кургана. На тёмном фоне белесоватые, светло - серые, рыжие пятна, структура непрочно - комковатая, имеются мелкие корешки.

[А] (40-45/50 см). Плотный, темно – серый погребенный гумусовый горизонт. Структура комковатая, имеются мелкие корни. Граница перехода заметна по изменению цвета.

[В<sub>1</sub>] (45/50-56 см). Плотный, светло-буро-коричневатый с сероватым оттенком погребенный гумусовый горизонт. Попадаются единичные корни. Структура ореховато-комковатая. граница перехода резкая.

[В<sub>2</sub>] (56-70 см). Плотный, бурый, с отдельными серыми пятнами (затёки гумуса) мелкие корни. Структура ореховато-призмовидная. Граница перехода резкая, по цвету.

ВС (70-95 см). Плотный, светло-палевого цвета, непрочно-ореховатой структуры, корешков практически нет.

Разрез 7. Заложен на вершине внешнего вала, окружающего Казакбаевское городище.

A<sub>0</sub> (0-3 см). Лесная подстилка. Рыхлый, бурый, переплетен корешками, легко отделяется слоем от минеральных горизонтов.

A<sub>1</sub> (3-17 см). Темно-серый гумусовый горизонт. Непрочно-мелко-комковатая структура. Встречаются корни мелких растений, суглинистый. Граница перехода неровная. Отдельные языки толщиной 2 см, глубиной до 40 см. Граница перехода выделяется по цвету, четкая.

A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> (17-22 см). Переходный осветленный горизонт. Отдельные фрагменты горизонта прерываются ходами корней. Светло-серый, непрочная комковатая структура, суглинистый. Встречаются более светлые и более темные пятна.

B<sub>1</sub> (22-40 см). Горизонт затеков. На общем светло-коричневом фоне – отдельные темно-серые гумусовые языки и округлые пятна, возможно погребенные остатки гумуса. Плотный, суглинистый, комковатой структуры, вязкий. Переход в следующий горизонт неровный, выделяется по цвету.

[A] (40-50 см). Погребенный гумусовый серого и темно-серого цвета горизонт. Мощность горизонта сильно меняется в стенках разреза – от 3 до 10 см. Предполагается, что гумусовый горизонт был снят, указанный же горизонт представляет его нижнюю часть. Суглинистый, мелкокомковатой структуры. Нижняя граница неровная, языковатая, меняет цвет от светло-серого до темно-серого.

[A] (50-55 см). Отдельный фрагмент погребенного гумусового горизонта. Пятна от 2-5 см до 6-7 см. Белесый, светло-серый, белее рыхлый, легкосуглинистый.

[B] (61-96 см). Пестро окрашенный погребенный горизонт. На светло-коричневом фоне – сизые, ржавые, темные пятна в виде потеков. Горизонт плотный, вязкий, суглинистый, разный по механическому составу. Структура неясно-призмовидная.

#### Разрез 9. Фоновый.

A<sub>0</sub> (0-3 см). Подстилка, представляет собой опад из листьев, остатков травянистых растений.

A<sub>1</sub> (3-24 см) Темно-серый, рыхлый, бесструктурный гумусовый горизонт. Мелкие корни травянистых и древесных растений. Переход к нижележащему горизонту выделяется по цвету, ровный.

A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> (24-30 см). Более светлый переходный горизонт. Серый со светло-серыми потеками, влажный, бесструктурный, рыхлый, суглинистый. Переход в следующий горизонт по цвету. неровный, граница неясная, встречаются мелкие корни растений.

A<sub>2</sub>B<sub>1</sub> (30-38 см). Рыжевато-коричневатый с серыми пятнами. Суглинистый, структура непрочно ореховатая, мелкие корни, влажный, плотный, граница перехода в нижележащий горизонт неясная, постепенная.

B<sub>1</sub> (38-72 см). Суглинистый, плотный, влажный, светло-ржаво-коричневый. Структура ореховатая.

#### Павлиново городище.

По своим морфологическим характеристикам в районе археологического памятника сформированы черноземы маломощные выщелоченные. Ниже приводится морфологическое описание зонального разреза.

#### Разрез 19. Зональный.

Ад 0-7 см. Темно-серый. Рыхлый; состоит из растительных остатков разной степени разложения и частично из минеральной массы. Многочисленные корни. Снимается слоем. Переход в следующий горизонт по цвету и плотности.

А 7-20 см. Темно-серый, рыхлый суглинок. Структура комковато-ореховатая, плохо выраженная. Многочисленные корни растений, норы. Граница перехода в следующий горизонт по цвету, едва уловимая, ровная.

B1 20-36 см. Темно-серый суглинок, практически не отличается от вышележащего, чуть светлее. Структура комковато-ореховатая. Многочисленные корни растений. Переход в следующий горизонт по появлению гумусовых затеков.

B2 36-51 см. Горизонт затеков. Затеки неясные, темно-серого цвета на общем желтовато-сером фоне. Рыхлый, непрочно-комковатый; встречаются корни растений. Переход в следующий горизонт по окончанию затеков, постепенный, неровный.

BC 51-71 см. Переход к почвообразующей породе. Желтовато-серый, плотный, суглинистый. Структура – непрочно-комковатая, корней немного. Граница перехода в нижележащий горизонт нечеткая, по цвету и плотности.

С 71-150 см. Материнская порода. Однородный, коричнево-рыжеватый, очень плотный. Карбонатный горизонт не выявлен.



#### Разрез 10. Внутренний оборонительный вал.

Адер. 0-6 см. Серый, сухой, плотный, мелко-комковатый опесчаненный суглинок. Масса мелких корней. Граница перехода в следующий горизонт волнистая, заметна по цвету.

6-22 см. Светло-серый, мелко-комковатый, плотный, встречаются кусочки угля, много мелких корней. Возможно – прослойка золы. Граница перехода четкая, по цвету.

22-(52-55) см. Пестрый по цвету: сочетание сероватых глиняных полосок с желтой массой. Норы роющих животных (до 20 см в диаметре), заполненные темной гумусированной массой. Есть небольшие норки (5-7 см в диаметре), также заполненные темным содержимым. Граница неровная, волнистая, карманообразная. Встречаются мелкие корни.

(52-55)-57 см. Серый – серо-желтый – темно-серый. Возможно – это исходная почва, набрасываемая при сооружении вала. Встречаются мелкие корни. Встречены черепа теленка и лошади. Граница перехода ровная, четкая.

[А] 80-103 см. Темный, темнее вышележащих и нижележащих горизонтов. Рыхлый, непрочный-комковатый. Встречаются корни и небольшие (до 5 см в диаметре) ходы землероев. Граница перехода неровная, с подтеками (до 120-130 см).

#### Разрез 22. Выкид из оборонительного рва.

Адер. 0-2 см. Состоит из пожелтевших растительных остатков, уплотнен в результате утапывания.

А 2-15 см. Темный, рыхлый, бесструктурный. Многочисленные корни. Граница перехода в следующий горизонт неровная, по цвету, с многочисленными небольшими затеками.

Выкид 15-28 см. По-видимому выкид из 1-го рва. Серый, плотнее вышележащего, пестрый по цвету (многочисленные темные подтеки и пятна). Переход в нижележащий горизонт по цвету.

[А] 28-(36-42) см. Светлее Агум., с подтеками и серыми пятнами. Встречаются корни растений. Граница перехода в следующий горизонт неровная, по цвету.

[В] (36-40)-51 см. Рыжеватый с темными затеками. Рыхлый.

ВС 51-80 см. Желтый, рыхлый. Встречаются норы с темным содержимым.

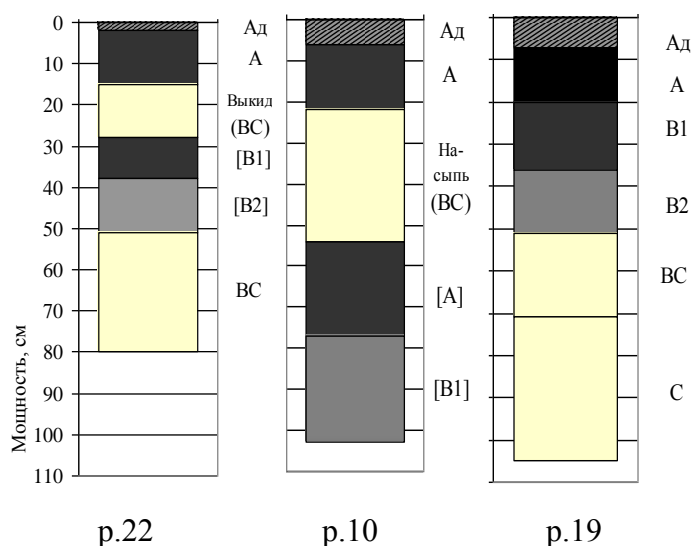
#### Разрез 23. Выкид из жилищной впадины вне городища.

Заложен в конце траншеи прокопанной от городища между двумя жилищами (на расстоянии 1 м от каждого), в боковой бровке. Почвенный профиль также сложного строения: погребенный почвенный профиль и на выкиде материковой породы (из жилища) сформирован новый почвенный профиль.

Адер. 0-2 см. Состоит из пожелтевших растительных остатков. До глубины в 5 см идет перепаханный или насыпной горизонт.

А 2-19 см. Темный, достаточно плотный, комковатый, легко рассыпается в руках. Многочисленные корни. Граница перехода в следующий горизонт нечеткая, по цвету.

Выкид 19-28 см. По-видимому выкид из жилищной впадины. Темно-серый, с нечеткими пятнами серого цвета, плотнее вышележащего. Многочисленные корни.



Переход в нижележащий горизонт нечеткий, по цвету.

[А+В1] 28-58 см. Темнее вышележащего горизонта, рыхлый, встречаются корни растений. Граница перехода в следующий горизонт неровная, по цвету, с многочисленными затеками.

ВС 58-105 см. Желтый, рыхлый – легко рассыпающиеся комочки. Многочисленные затеки и норы.

Рис. 3.3.4.1. Схематическое изображение антропогенно нарушенных и фоновых почв Павлинова городища.

### 3.4.2. Физико-химическая характеристика почв.

#### Казакбаевское городище.

Данные по агрохимическому состоянию почв Казакбаевского городища приведены в таблице 3.4.2.1.

Таблица. 3.4.2.1.

## Физико-химическая характеристика почв Казакбаевского городища

№ разр.	Горизонт, глубина отбора проб, см		РН (Н <sub>2</sub> О)	рН (КС1)	К <sub>2</sub> О мг/100 г	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , мг/100 г	Гидр. к-ть, мг-экв/100г	ЕКО, мг- экв/100г	Гумус, %
2	Ад	0-3	6,63	5,53	56,0	60	5,99	39,31	10,38
	А	3-17	6,20	5,12	18,5	40,1	4,79	34,01	7,69
	В <sub>1</sub>	17-26	6,23	5,15	15,3	40,35	5,77	22,25	5,08
	Насыпь	26-40	5,87	4,57	66,5	16,15	5,36	15,95	3,32
	[А]	40-50	6,89	5,45	19,5	40	2,52	24,35	4,54
	[В <sub>1</sub> ]	50-56	6,96	5,68	18,2	59,6	4,45	19,73	2,79
	[В <sub>2</sub> ]	56-70	6,88	5,57	18,5	не опр.	3,21	13,43	1,59
	ВС	70-95	6,41	5,12	22,2	24	2,24	8,00	0,70
	С	95-100	6,17	5,10	19,2	15,5	1,26	18,00	1,08
7	А <sub>0</sub>	0-3	6,91	6,09	21,6	6,20	7,08	132,68	-
	А <sub>1</sub>	3-17	6,81	6,07	41,0	7,72	3,01	32,08	5,34
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	17-22	5,29	4,46	28,0	3,95	4,43	19,23	1,32
	В <sub>1</sub>	22-40	4,61	3,86	31,5	-	4,78	23,39	2,94
	[А]	40-50	5,05	4,54	22,0	3,43	4,78	20,05	1,99
	[А <sub>1</sub> А <sub>2</sub> ]	50-55	4,87	4,29	7,1	4,43	1,77	11,34	0,64
	[В]	61-96	5,34	4,42	23,5	12,55	2,83	-	0,24
9	А <sub>0</sub>	0-3	6,31	6,02	14,1	4,23	5,31	91,46	-
	А <sub>1</sub>	3-24	6,25	5,66	11,6	4,27	3,89	26,31	3,49
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	24-30	6,13	5,40	13,0	7,10	1,59	15,92	0,79
	А <sub>2</sub> В <sub>1</sub>	30-38	6,44	5,70	26,0	10,23	1,29	21,09	0,56
	В <sub>1</sub>	38-72	6,32	5,56	26,5	11,38	1,29	21,33	0,56

Изучаемые почвы имеют кислую реакцию водного раствора. Профильный ход рН Н<sub>2</sub>О характеризуется S-образной кривой с минимумом в горизонте А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> для зональной почвы. По величине рН почвы на внешнем валу – менее кислые, чем погребенные, и в общем соответствуют зональной почве. Внутренний вал характеризуется увеличением рН, по сравнению с зональной почвой. За промежуток времени в 3000 лет сформировались почвы по кислотности соответствующие темно-серым лесным почвам. Закономерности распределения значений рН обменной кислотности по горизонтам совпадают с распределением актуальной кислотности.

В минеральных горизонтах антропогенно нарушенных почв наблюдается повышенное содержание фосфора, которое можно было бы связать с антропогенным воздействием человека. В то же время, можно предположить, что низкое количество фосфора в горизонтах A1A2 (0,11-2,55 мг/100г почвы) свидетельствует о проявлении лишь природного процесса: происходит вымывание его из верхней части профиля. Содержание антропогенно внесенного фосфора зависит от интенсивности его использования в хозяйственной деятельности.

Темно-серые лесные почвы приближаются по агрохимическим, морфологическим и физическим свойствам к оподзоленным черноземам. Отличительной особенностью темно-серых почв является повышенное содержание гумуса и более темная окраска горизонта A1 по сравнению с серыми и светло-серыми лесными оподзоленными лесными почвами. Степень оподзоленности этих почв невелика.

Распределение по профилю гумуса свидетельствует о более интенсивном проявлении дернового процесса у темно-серых лесных почв. Содержание гумуса вниз по профилю уменьшается постепенно.

В зональных почвах в дерновом горизонте количество гумуса колеблется в интервале от 6,57 % до 3,49 %. В дерновом горизонте внешнего вала количество гумуса попадает в этот интервал, что говорит о приближении его к темно-серым почвам. Однако мощность горизонта намного меньше, следовательно, эти почвы моложе. В погребенной почве содержание гумуса значительно меньше, чем в дневной.

На исследуемых нами объектах основную роль в формировании подстилок имеет листовая опад березы и осины; в травяно-кустарничковом ярусе имеется достаточно травянистых растений, обычно более богатых основаниями. Однородностью растительности на всех объектах объясняется практически одинаковое содержание обменных оснований в верхней части подстилок (125,6 - 100,4 мг-экв/100 г почвы). В минеральных горизонтах содержание обменных оснований соответствует описываемым в литературе характерные для темно-серых почв.

#### Павлиново городище.

Данные физико-химических анализов почв Павлинова городища приведены в таблице 3.4.2.2.

Физико-химическая характеристика  
антропогенно-измененных и фоновых почв Павлинова городища

№ образца	Гори- зонт	Глубина, см	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Угле- род, %
			H <sub>2</sub> O	KCl	мг/100г			
Разрез 22 (выкид из оборонительного рва)								
55	Ад	0-2	6,76	не опр.	40,65	45,18	12,12	5,41
56	А	2-15	6,00	4,90	6,82	4,15	0,94	1,70
57	BC	15-28	6,29	5,44	8,13	7,66	1,29	0,78
58	[B1]	28-38	6,43	6,17	10,81	11,01	1,21	0,81
59	[B2]	38-51	6,47	5,78	10,30	11,44	1,24	0,29
60	BC	51-80	6,51	6,09	11,80	8,72	1,27	0,19
Разрез 23 (выкид из жилища вне городища)								
61	Ад.	0-2	6,44	не опр.	43,75	29,17	6,19	5,23
62	А	2-19	6,21	5,35	7,62	8,58	2,37	2,01
63	BC	19-28	6,70	не опр.	12,98	8,92	1,08	1,51
64	[A+B1]	28-58	7,10	6,44	16,24	11,87	1,29	1,57
65	BC	58-105	6,96	6,45	15,52	9,44	1,75	0,12
Разрез 19 (зональный 2,5 км)								
48	Ад	0-7	6,40	не опр.	133,09	32,88	4,85	3,95
49	А	7-20	6,48	5,94	13,31	3,57	1,62	2,32
50	B1	20-36	6,88	6,50	12,75	2,75	1,75	2,21
51	B2	36-51	7,01	6,72	10,09	2,23	1,80	1,03
52	BC	51-71	7,18	6,24	8,59	1,92	1,48	0,20
53	С	71-105	6,74	5,47	8,21	3,43	2,69	0,14

Фоновые почвы Павлинова городища – чернозёмы среднесиловые выщелоченные (разрез 19), содержат высокое количество доступных растениям форм фосфора: 8,21 - 13,31 мг/100г почвы в минеральных горизонтах (10,09 мг/100г на глубине отбора образцов КС городища). Отмечено очень низкое содержание обменного калия: 1,92 - 3,57 мг/100г почвы (2,23 мг/100г на глубине КС) и обменного натрия: 1,48 – 1,80 мг/100г почвы (1,80 мг/100г на глубине КС). Обменных оснований в изучаемом черноземе также мало: 4,84 - 11,63 мг-экв/100г почвы (7,33 мг-экв/100г на глубине КС).

Содержание органического углерода относительно невелико: в гор.Ад – 3,95 %, в гор.А – 2,32 %, что характерно для малогумусных выщелоченных чернозёмных почв. На глубине КС в гор.В2 содержание углерода составляет 1,03 %. Вглубь профиля его

содержание постепенно уменьшается и на глубине 71 - 105 см составляет десятые доли процента (0,14 %).

Значения и профильное распределение актуальной кислотности на нарушенных почвах Павлинова городища не соответствуют зональному. В целом наблюдается уменьшение концентрации  $[H^+]$  в несколько раз по сравнению с фоновыми показателями. Особенно это характерно для КС и погребенных горизонтов внутри городища: средняя концентрация  $[H^+]$  в почвах КС ниже фоновых в два раза; в погребенных почвах – почти в четыре раза. Ранее подобные закономерности были отмечены для антропогенно нарушенных несколько тысяч лет назад почв среднетаежной зоны (Коркина, 2001; Махонина, Коркина, 2002б).

Почвы насыпи внутреннего вала более щелочные, чем фон, внешнего вала – более кислые. За пределами городища, где антропогенная нагрузка была меньше, кислотность почв близка к фоновым значениям.

Соединения подвижного фосфора и обменного калия могут считаться маркерными для определения степени антропогенного воздействия. Наиболее высокие значения  $P_2O_5$  встречены в КС внутри городища (130,80 - 500,00 мг/100г), на оборонительных валах, которые, по-видимому, укреплялись деревянными конструкциями (до 378,13 мг/100г), во рву, который, возможно, использовался как сточная яма (до 140,97 мг/100г – на дне рва), в КС жилищ, а также в непосредственной близости от артефактов.

Зональный р.19-01 содержит 3,95 % углерода в гор.Ад; в минеральных гумусовых горизонтах А и В1 это значение уменьшается до 2,32 % и 2,21 % соответственно и затем падает в нижележащих горизонтах до 1,03 - 0,14 %. Подобное резкое профильное изменение содержания гумуса характерно для черноземов Западной Сибири, что неоднократно было отмечено ранее (Бахарева, 1959; Генезис, эволюция..., 1988; Иванов, 1992; Иванов, Чернянский, 1996; Свалова, 2005 и др.) и связано с климатическими особенностями, главным образом – резкой континентальностью климата и особенностями промерзания и иссушения почв. Запасы гумуса в зональном разрезе 19 составляют 105,1; 215,6; 238,9 т/га соответственно в слое 0-20; 0-50; 0-100 см.

Содержание органического углерода в минеральных горизонтах изучаемых разрезов внутри городища во многих случаях выше такового зональных черноземных почв. В большей степени это связано с антропогенной деятельностью и накоплением на территории городища органического материала как почвенного, так и иного происхождения, а также с наличием угольных частиц.

В то же время наблюдается сложное, по сравнению с фоновой почвой, профильное распределение органического вещества. В верхних горизонтах его содержание обычно не достигает фоновых значений, а приближаясь к КС и глубже – превышает их.

В погребенных гумусовых горизонтах среднее содержание углерода в рассматриваемых разрезах составляет 1,48 % от общего углерода, или 65,31 % от фонового для гор.[А] (при этом не учитывается р.22, в котором при строительстве фортификаций было срезано около 20 см верхних гумусовых горизонтов, в связи с чем современное содержание углерода составляет всего 0,81 %). В гор.[В1] содержание углерода составляет 0,99 % или 44,91 % от фонового. Принимая, что после погребения в черноземах через 2 тыс. лет содержание гумуса составляет примерно 40 % от исходного (Иванов, 1992), получаем, что зональные черноземы на момент основания городища, с учетом диагенеза, предположительно могли содержать около 3,60 % углерода в гор.А и около 2,50 % в гор.В1, или 112,0 - 155,2 % от современного. Суммарная мощность минеральных гумусовых горизонтов могла колебаться в разных разрезах от 10 до 46 см (при мощности фоновых А+В1 = 29 см). Такие вариации могут быть вызваны несколькими причинами: а) срезкой части гумусового горизонта перед погребением; б) аккумуляцией материала антропогенного происхождения на дневной поверхности почв; в) изменением климатических условий почвообразования.

Запасы гумуса в погребенных горизонтах составляют: в слое 0-20 см; 0-50 см; 0-100 см от средних значений фона соответственно: 66,4; 64,1 и 67,5 % (средние значения, без учета р.22, где были срезаны верхние погребенные гумусовые горизонты; для слоя 0-100 см – только р.09), что с учетом диагенеза могло составлять 166,0; 160,3 и 168,7 % от фоновых показателей. Эти значения, возможно, несколько завышены в связи с неполным выходом верхних погребенных горизонтов из биологического круговорота ввиду малой мощности насыпных горизонтов (от 28 до 61 см), что способствует вовлечению их в современный почвообразовательный процесс (Генезис, эволюция..., 1988).

#### **3.4.3. Содержание тяжелых металлов.**

В качестве объекта исследования в подзоне северной лесостепи были выбраны Казакбаевское городище и Павлиново городище. Результаты представлены на диаграмме (рис. 3.4.3.1).

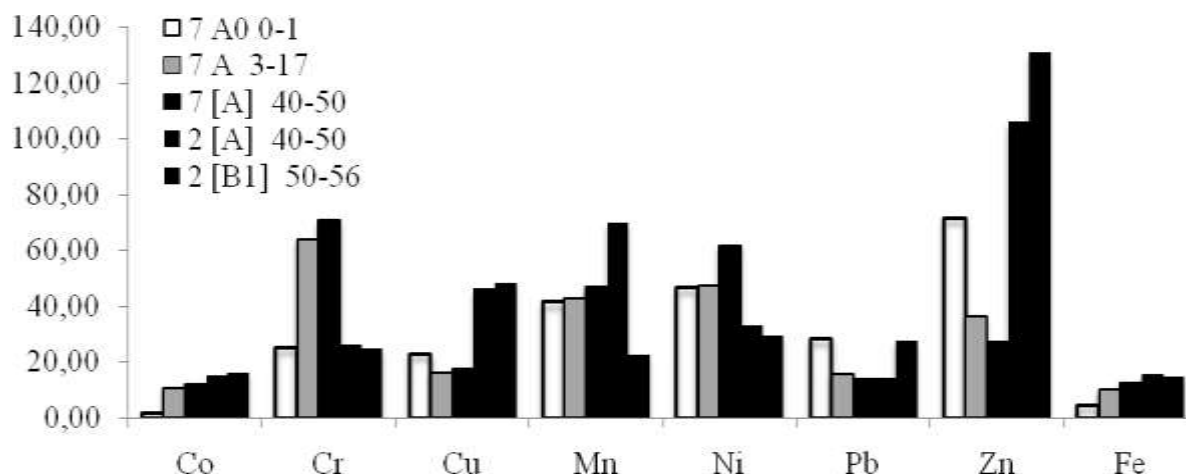


Рис. 3.4.3.1. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Поселение Казакбаево.

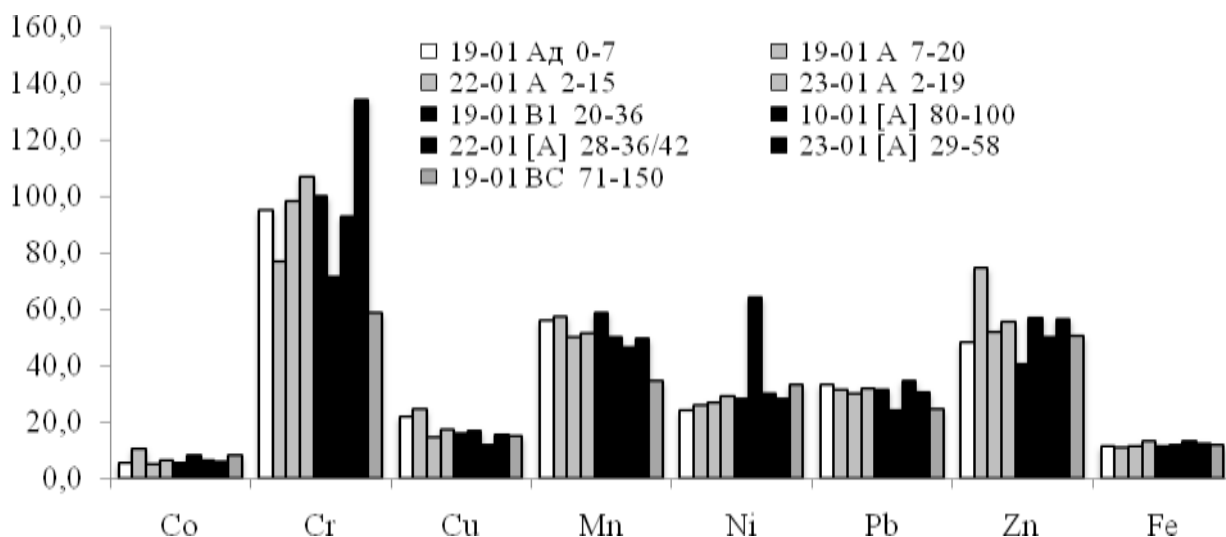


Рис. 3.4.3.2. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).  
Павлиново городище.

На поселении Казакбаево отмечено повышенное содержание хрома и никеля в дневных почвах относительно погребенных подкурганных почв (соответственно 63,9 против 24,7-26,0 мг/кг почвы и 47,0 против 29,4-33,1 мг/кг почвы). В погребенных почвах на валу содержание Cr и Ni несколько выше, чем под курганами – 70,4 и 61,6 мг/кг почвы. В то же время, в погребенных почвах этом объекте содержание «маркерных» элементов



металлургического производства бронзы – меди, свинца и особенно цинка значительно выше, чем в других погребенных, и даже чем в дневных почвах.

На Павлиновом городище, относящемся к раннему железному веку, картина несколько иная. Прежде всего необходимо отметить высокое содержание хрома во всех без исключения почвенных горизонтах – 95,0 мг/кг в дернине, 71,2-99,8 в дневных почвах (107,0 – в насыщенных антропогенных горизонтах на валу), 92,8-134,0 мг/кг – в погребенных горизонтах. В насыпи внутреннего вала (р.10-01) отмечено высокое содержание никеля (64,0 мг/кг).

Таким образом, на основе изучения распределения ТМ в почвах разновозрастных поселений, расположенных в одной природно-климатической зоне, можно сделать вывод о наличии на памятниках эпохи бронзы почв с повышенными концентрациями меди, хрома, свинца, чего не наблюдается на объектах, датируемых ранним железным веком.

### **3.5. Южная лесостепь.**

В южной лесостепи в качестве объектов исследования были изучены курган "Бабий Бугор" (Курганская обл.), датировка - ранний железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.) и поселение Степное (Челябинская область, бронзовый век – 4 тыс. л.н.).

#### **3.5.1. Морфология почв.**

Во время полевого сезона 2009 года на археологическом памятнике Степное было заложено 5 разрезов. Три разреза были заложены на участках, в которых обнаружены следы антропогенной деятельности (4000-летние относительно чистые, 4000-летние антропогенно загрязненные почвы и 50-летние почвы). Для сравнения морфологических и химических свойств антропогенно нарушенных почв было сделано описание фоновых разрезов. В 2010 году было заложено 4 разреза на археологическом памятнике Бабий бугор: 2 фоновых разреза (пахотный и непахотный), усеченный пахотный и разрез на валу.

Морфологическая характеристика почв поселения Степное была приведена в отчете 2010 года. Ниже приводится описание морфологического строения фоновых и антропогенно измененных почв вблизи кургана Бабий Бугор.

### Разрез 8-10 (фоновый непахотный)

Расположен на прикурганной территории между собственно курганом и ритуальным рвом (рис. 5).



Почвенный разрез  
фоновых непахотных  
почв

Описание разреза:

**A<sub>d</sub> (0-5 см).** Буровато-серый, снимается слоем, густо переплетенный корнями. Структура мелкозернистая. Супесчаный, уплотненный, сухой.

**A (5-20 см).** Темно-серый, плотный, супесчаный сухой. Крупно-глыбистая структура, распадается на мелкие комочки. Множество корней. Переход в следующий горизонт по плотности и цвету, постепенный неясный.

**B<sub>1</sub> (20-38 см).** Темно-серый, но нижняя часть светлее. Структура комковатая с заостренными гранями. Имеется крупная нора землероев, наличие многочисленных корней. Переход в нижележащий горизонт по началу гумусовых

затеков.

**B<sub>2</sub> (38-67 см).** Рыжевато-коричневый, книзу светлый. Трещины на общем фоне, затеки по трещинам (темно-серые). Диаметр затеков 2-3 см с расстоянием между ними 2 см. Имеются норы. Переход в следующий горизонт постепенный по окончанию гумусовых затеков.



Почвенный разрез  
фоновых пахотных почв

**B<sub>3</sub> (67-95 см).** Серовато-желтый, плотный (практически слитой). Структура не выражена. Имеются ходы животных, норы в диаметре составляют 5 см и заполнены темным содержимым. Встречаются отдельные корни. Переход по цвету и вскипает от 10% HCl. Плотность книзу уменьшается. Граница ровная.

**B<sub>Ca</sub> (95-120 см).** Светло-коричневый пепельный, неоднородный со светлыми пятнами карбонатов. Плотный сухой. Корней нет. Структура не выражена. Вскипает от HCl.

### Разрез 9-10 (фоновый пахотный).

Расположен на расстоянии 400 м от кургана в южном направлении на вспаханном поле (рис. 6).

Описание разреза:

**A<sub>пах</sub> (0-10 см).** Темно-серый, супесь, рыхлый, густо переплетенный корнями. Влажный, бесструктурный. Переход по плотности и структуре

**A<sub>пах</sub> (10-32 см).** Темно-серая супесь, крупно-глыбистая структура. Корни располагаются по трещинам. Трещины вертикальные 7-9 см (крупно-столбчатая структура). Плотный, сухой. Граница перехода в нижележащий горизонт ровная по цвету и по началу гумусовых затеков.

**B<sub>2</sub> (32-64 см).** Общий фон серовато-коричневый, темно-серые затеки. Плотный, структура не выражена. Трещины вертикальные. В основании ширина гумусовых затеков до 7 см, длина до 25 см (64 см), ширина сужается до 1-2 см, норы в диаметре до 3 см. Корни немногочисленны. В некоторых частях граница по нижней подошвы плуга. Переход в следующий горизонт по окончанию гумусовых затеков.

**B<sub>3</sub> (64-73 см).** Светло желтовато-коричневый. Менее плотный, чем вышележащий. Корней нет, супесчаный. Переход по началу вскипания карбонатов. Граница ясная ровная по цвету.



**B<sub>Ca</sub> (73-100 см).** Светлее вышележащего. Ярко выражен карбонатный мицелий. Менее плотный. Неярко выраженные скопления солей. Переход по цвету.

**B<sub>Ca2</sub> (100-112см).** Светлее, заметны белые скопления солей. Вскипание от 10% HCl.

#### Разрез 7-10 (усеченный пахотный)

Заложен на прикурганной территории на расстоянии 180 м в юго-восточном направлении от кургана, на вспаханном поле (рис. 7).

Описание разреза:

Почвенный разрез

усеченных 2500-летних  
пахотных почв

**A<sub>пах</sub> (0-13 см).** Рыхлый, темно-серый, сухой, рассыпчатый. Структура комковатая.

Переход резкий по плотности.

**A<sub>пах</sub> (13-24 см).** Темно-серый плотный, структура комковатая. Переход в следующий горизонт по появлению затеков.

**B<sub>2</sub> (24-42 см).** Горизонт затеков. Пятнистый, цвет светло-серовато-желтый, структура мелкокомковатая, заплывчатые затеки темно-серого цвета, неправильной формы, изогнутые. Переход по цвету, отсутствию затеков и по началу вскипания в соляной кислоте.

**В<sub>3</sub> (42-62 см).** Серовато-желтый, структура мелкокомковатая. Суглинок. Имеются ходы животных, сгнившие корни. Вскипает от HCl. Переход в нижележащий горизонт по цвету.

**В<sub>ca</sub> (62-93 см).** Более светлый. Корни не встречаются. Интенсивно вскипает от соляной кислоты.

**В<sub>Ca</sub> (93-110 см).** Светлее, заметны белые скопления солей. Вскипание от 10% HCl.

#### Разрез 5-10 (вал).

Заложен на слабопоклатом склоне, примерно в 100 м от вершины, на той же высоте, что и курган (рис. 8).

Описание разреза:



Почвенный разрез 2500-  
летних почв вала

**А<sub>д</sub> (0-6 см).** Темно-серый, снимается слоем, густо переплетенный корнями травянистых растений. Структура мелкозернистая.

**А (6-23/29 см).** Темно-серый плотный, много корней травянистых растений. Структура зернисто-комковатая рассыпчатая. Переход в следующий горизонт постепенный, неясный, по плотности.

**В<sub>2</sub> (23/29-51 см).** Пестрый горизонт. Присутствуют темно-серые пятна, рыжие пятна землероев. Структура плотная комковатая. Вскипает от 10 % HCl. Переход в следующий горизонт неясный, по цвету.

**Насыпь (51-69 см).** Темно-серый пестрый. Имеются ходы землероев. Плотный, структура комковатая. Вскипает

от соляной кислоты.

**[А] (86-100 см).** Темно-серый. Структура комковато-ореховая. Вскипает от 10 % HCl.

**(100-130).** Неоднородный горизонт: на общем желтовато-коричневом фоне бурые пятна и затеки. Очень плотный.

Фоновыми почвами во всех случаях были черноземы средневщелоченные средне- и маломощные среднегумусные супесчаные и легкосуглинистые на продуктах выветривания гранитов.

Анализируя морфологическое описание почв археологического памятника Бабий Бугор, необходимо отметить, что пахотные фоновые почвы в отличие от целинных фоновых почв имеют меньшую мощность гумусовых горизонтов, которая составляет 32 см (против 38 см на целинных почвах). Также необходимо отметить меньшую мощность гумусовых горизонтов (A+B<sub>1</sub>) новообразованных в сравнении с фоновыми голоценовыми. Так, общая мощность гумусовых горизонтов 2500-летних почв в поле на расстоянии 180 м от кургана, где срезка верхней части была максимальна, оказалась, по-видимому, менее 24 см (глубина вспашки – это как минимум на 8 см меньше фонового показателя пахотных почв); на валу – 29 см, (что на 9 см меньше аналогичного фонового показателя на целине). Кроме того, усеченные почвы на распаханном поле отличаются от фоновых глубиной залегания карбонатного горизонта. Карбонатный горизонт на усеченных пахотных почв начинается с 42 см, у фоновых пахотных – с 73 см. Таким образом, наиболее близка к поверхности оказалась верхняя граница карбонатного горизонта у почв на расстоянии 180 м от кургана, т.е. там, где в процессе сооружения кургана были срезаны верхние почвенные горизонты мощностью до 31 см.

Погребенные почвы на указанном объекте фиксируются под насыпью на валу на глубине 86-100 см.

### 3.5.2. Физико-химическая характеристика почв.

Характеристика химического состояния почв поселения Степное приведена в отчете 2010 года. Ниже приводится физико-химическая характеристика почв вблизи кургана Бабий Бугор.

Таблица 3.5.2.1.

Агрохимическая характеристика почв  
археологического памятника «Бабий Бугор»

Горизонт	Глубина, см	рН		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Углерод, %	CO <sub>3</sub> , %
		H <sub>2</sub> O	KCl	мг/100г почвы					
Разрез 7-10 (усеченный пахотный)									
Апах	0-13	6,42	5,37	2,96	8,82	1,8	465,33	1,84	0,28
Апах	13-24	6,86	5,51	2,55	7,27	2,37	460,61	2,04	0,28
B <sub>2</sub>	24-42	7,12	5,77	2,07	5,61	2,63	416,89	1,08	0,24
B <sub>3</sub>	42-62	7,75	7,26	2,29	7,30	4,93	805,22	0,65	1,08
B <sub>Ca</sub>	62-93	8,16	7,50	0,91	6,64	2,66	748,50	0,27	3,64
Разрез 9-10 (фоновый пахотный)									
Апах	0-10	6,86	5,40	4,96	17,51	2,76	464,15	2,59	0,23
Апах	10-32	6,76	5,45	3,82	6,68	2,87	506,69	2,44	0,33
B <sub>2</sub>	32-64	7,31	6,08	2,51	5,65	2,62	379,07	0,87	0,12

B <sub>3</sub>	64-73	7,32	6,39	1,97	4,78	2,86	262,09	0,39	0,24
B <sub>Ca</sub>	73-100	7,94	7,50	3,13	7,09	7,84	694,62	0,30	1,75
B <sub>Ca2</sub>	100-112	7,83	7,35	1,95	8,24	6,85	738,10	0,34	2,67
Разрез 8-10 (фоновый непахотный)									
Ад	0-5	6,92	6,14	19,73	58,55	43,22	423,06	5,32	0,55
А	5-20	6,61	5,23	3,37	19,08	2,11	439,34	3,70	0,27
B <sub>1</sub>	20-38	6,53	5,35	5,16	11,39	2,21	390,89	1,78	0,17
B <sub>2</sub>	38-67	6,59	4,91	5,35	11,49	2,42	221,92	0,64	0,23
B <sub>3</sub>	67-95	5,74	4,44	4,73	11,31	1,40	175,83	0,37	0,17
B <sub>Ca</sub>	95-100	7,63	7,47	1,08	10,27	2,59	730,54	0,16	0,55
Разрез 5-10 (вал)									
Ад	0-6	7,83	7,30	37,8	71,5	21,2	742,10	2,82	0,59
А	6-23/29	7,42	6,82	6,27	19,57	3,27	552,78	2,33	0,23
B <sub>2</sub>	23/29-51	8,02	7,54	1,33	11,85	3,45	731,49	1,05	0,98
Насыпь	51-69	8,04	7,52	0,96	10,91	8,26	722,03	0,96	1,01
[А]	86-100	8,00	7,51	1,73	9,20	5,76	694,62	1,32	0,64

### 3.5.3. Содержание тяжелых металлов.

Интересно было проследить профильный ход содержания ТМ в фоновых почвах (рис. 3.5.3.1) Как видно из рисунка, профильный ход содержания ТМ в фоновых черноземах выщелоченных среднемощных обнаруживает некоторые особенности. В первую очередь необходимо отметить, что накопление элементов в гумусовых горизонтах не выражено и обнаруживается в некоторой степени лишь для цинка, хрома, и меди. По-видимому, это связано с унаследованием содержащихся в этом горизонте микроэлементов от почвообразующей породы. Отмечено также некоторое накопление кобальта, меди, свинца и хрома непосредственно над карбонатным горизонтом, железа, никеля и свинца – в самом карбонатном горизонте. В целом же указанные почвы характеризуются достаточно равномерным распределением ТМ по профилю.

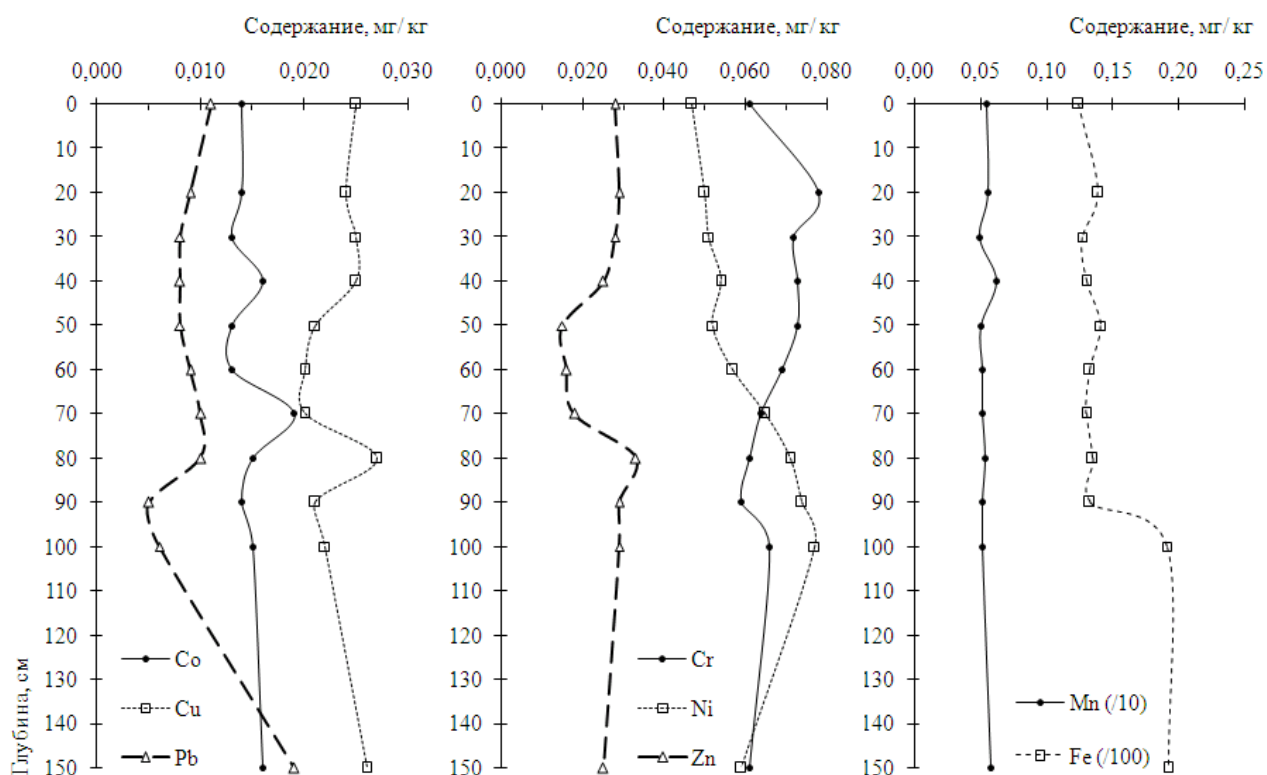


Рис. 3.5.3.1. Профильный ход содержания ТМ в фоновых черноземах выщелоченных.

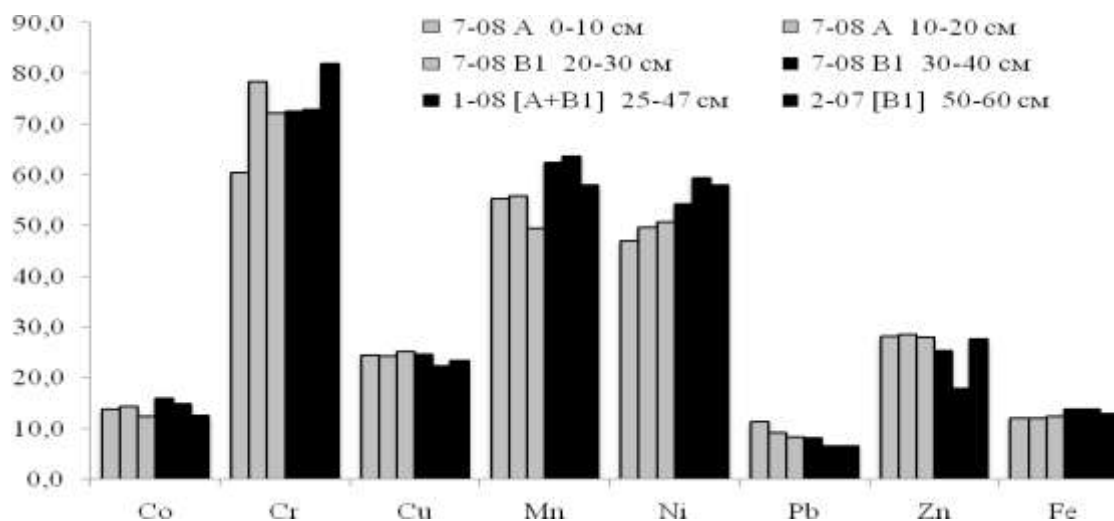


Рис. 3.5.3.2. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).

Поселение Степное.

Как видно из диаграммы, в целом в пределах поселения отмечено достаточно ровное распределение содержания ТМ по горизонтам дневных и погребенных почв. При сравнительном анализе содержания ТМ в погребенных и в дневных почвах никаких значимых различий обнаружить не удалось.

В условиях поселения Степное имелась возможность оценить возможное влияние деятельности древнего человека на загрязнение почв ТМ. Поселение относится к бронзовому веку – эпохе становления металлургического производства. На рис. 3.5.3.3 и 3.5.3.4 приведены примеры распределения ТМ в КС поселения и в соответствующих ему горизонтах дневных почв (для хрома и цинка).

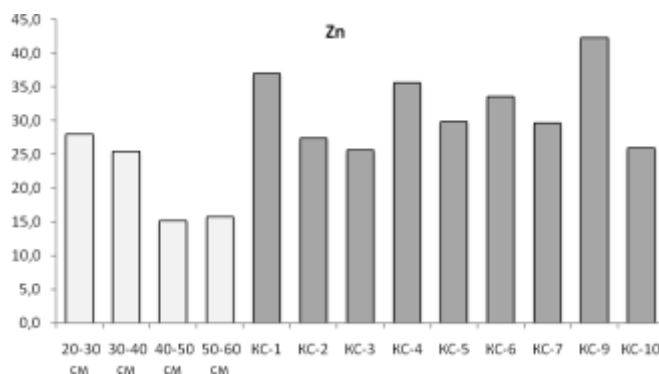


Рис. 3.5.3.3. Содержание цинка в культурном слое (КС) и в соответствующих горизонтах фоновых почв поселения Степное, мг/кг почвы.

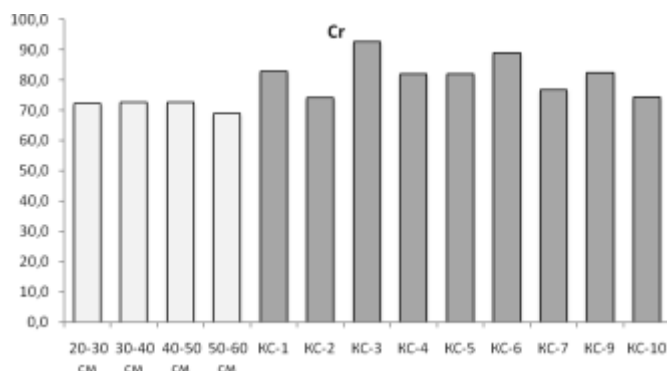


Рис. 3.5.3.4. Содержание хрома в культурном слое (КС) и в соответствующих горизонтах фоновых почв поселения Степное, мг/кг почвы.

Как показали проведенные исследования, в почвах поселений бронзового века обнаруживаются характерные элементы-маркеры металлургического производства. Это медь, цинк и свинец. Содержание последнего в культурном слое выше в 3,5-4,0 раза, чем в современных дневных почвах.

На рис. 3.5.3.5 приведены данные, отражающие накопление ТМ в дневных и погребенных почвах, а также непосредственно в насыпи кургана Бабий Бугор.

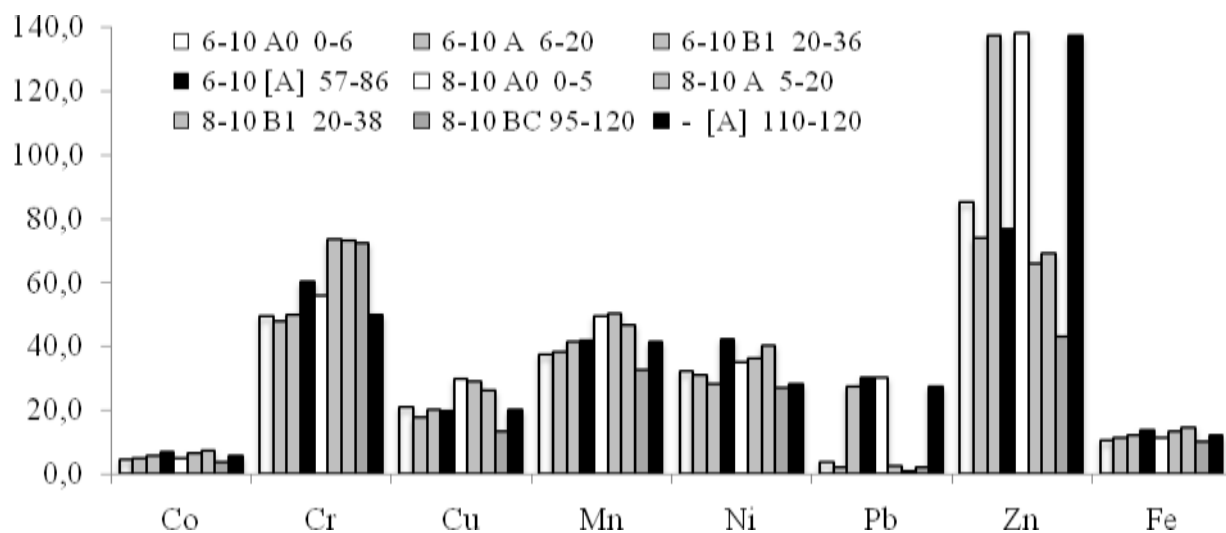


Рис. 3.5.3.5. Содержание ТМ в подстилке (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г).

Курган Бабий Бугор.



Отмечено очень высокое содержание цинка в погребенных гумусовых горизонтах (76,8-137,5 мг/кг почвы). Высокое содержание этого элемента отмечено и в остальных горизонтах. В то же время, в почвообразующей породе концентрация цинка (42,9-78,0 мг/кг почвы) хоть и выше средних значений, но несколько ниже приведенных выше, поэтому ограничиться одним лишь указанием на особенности почвообразующих пород в данном случае не представляется возможным. Также по сравнению с почвообразующими породами в погребенных почвах наблюдается высокое содержание свинца – 27,5-30,1 против 2,1 мг/кг почвы. Свинца оказалось много и в дневных почвах горизонта дернины фоновой разреза (30,2 мг/кг), а также в верхних гумусовых горизонтах пашни 24,9-25,1 мг/кг почвы).

По сравнению с погребенными, в дневных фоновых почвах оказались несколько более высокие показатели содержания хрома в фоновых дневных почвах (72,4-79,4 против 49,7-60,1 мг/кг). Насыпь вала характеризуется очень высоким содержанием цинка (до 137,5 мг/кг в минеральных горизонтах).

### **3.6. Настоящая степь.**

В подзоне настоящей степи для характеристики фоновых и погребенных почв были использованы следующие объекты: почвы Барнаульского Приобья (Алтайский край, плейстоцен) и укрепленное поселение Каменный Амбар (Челябинская область, 3,5-4,0 тыс.

#### **3.6.1. Морфология почв.**

##### Почвы Барнаульского Приобья.

В балке глубиной около 4 м, образованной рекой Петушихой, являющейся левым притоком Оби, были обнаружены плейстоценовые почвы разного возраста. Описание стратиграфической колонки приводится начиная с 1,5 м от верхней поверхности обнажения балки в месте, где общая ее глубина составляет 3,5 м.

Прослой – 0-4 см – светло-палевый, уплотненный, пористый, структура призматическая, средний суглинок, бурное вскипание от 10% HCl, граница неясная.

Прослой – 4-20 см – буроватый, уплотненный, структура призматическая с гумусовыми пленками, пористый, средний суглинок, новообразования Fe, карбонатов в виде крапинок псевдомицелия, бурное вскипание от 10% HCl, граница неясная, переход постепенный по окраске.

Прослой – 20-44 см – светло-палевый, структура призмовидная, пористый, средний суглинок, новообразования Fe, карбонатов, бурное вскипание от 10% HCl, граница ровная.

[A]<sub>1</sub> – 44-54 см – буровато-серый, структура призмовидная, средний суглинок, более плотный, чем предыдущий прослой, пористый, свежий, вскипает, переход по окраске, граница ясная.

[B]<sub>1</sub> – 54-88 см – темно-палевый, структура комковато-призмовидная с гумусовыми пленками, пористый, тяжелый суглинок, новообразования Fe и Mn, бурное вскипание от 10% HCl.

[A]<sub>2</sub> – 88-106 см – темно-бурый с гумусовыми затеками, структура призмовидная с кремнеземной присыпкой, пористый, средний суглинок, новообразования карбонатов в виде белоглазки, бурное вскипание от 10% HCl, переход постепенный, граница волнистая.

[B]<sub>2</sub> – 106-163 см – темно-палевый, структура комковатая, свежий, уплотненный, средний суглинок, новообразования карбонатов в виде белоглазки, гумусовые и марганцевые кутаны, бурное вскипание от 10% HCl.

[A]<sub>3</sub> – 163-173 см – бурый, неоднородный по окраске, структура комковато-зернистая, средний суглинок, новообразования карбонатов в виде белоглазки и пятен Mn, включения раковин и угля, бурное вскипание от 10% HCl, переход постепенный, граница неясная.

[B]<sub>3</sub> – 173-193 см – бурый, структура призмовидная, пористый, средний суглинок, новообразования Mn и гипса в виде друз, единичные включения корней современных растений, бурное вскипание от 10% HCl.

Таким образом, в пределах стратиграфической колонки обнаружены три погребенных гумусовых горизонта. Самый молодой и самый древний среди них имеют одинаковую мощность, составляющую 10 см. Гумусовая толща погребенного горизонта под №2 достигает 28 см.

По предварительным оценкам горизонты [A]<sub>2</sub> и [A]<sub>3</sub> являются гумусовыми горизонтами почв плейстоценового возраста, а горизонт [A]<sub>1</sub>, возможно, почвы голоценового возраста. Из погребенных гумусовых горизонтов дополнительно были взяты образцы для определения их возраста радиоуглеродным методом.

#### Поселение Каменный Амбар

Р. 12-11 (фон). Заложен в 300 метрах на северо-восток-восток от поселения, в злаково-полынно-типчаковой степи. Типчак (sol), злаки (cop 3), полынь (cop 3),

тысячелистник (sol), девясил (sol), имеются участки в микропонижениях, целиком занятые полынью (рис..).

Описание разреза:

A<sub>д</sub> (0-1 см). Тёмно-серая, резко выделяется по цвету, густо переплетена корнями растений. Граница ровная, ясная.

A<sub>1</sub> (1-10 см). Буровато-светло-серый, глинистый, переплетённый корнями, распадается на комочки, затем на пластинки (комковато-пластинчатая структура). Сухой, плотный, переход неясный, по цвету и структуре.

A<sub>1</sub> (10-20 см). Темнее вышележащего, по-видимому, является нижней частью надсолонцевого горизонта, сухой, плотный, распадается сначала на крупные столбы, затем на пластинки. Корней значительно меньше, от вышележащего легко отделяется, книзу темнеет. Переход по подошве плуга, неясный.

B<sub>1sl</sub> (20-37 см). Чуть светлее вышележащего, книзу незначительно темнеет. Чётко видна крупнотолбчатая структура, столбы распадаются на зёрна. Очень плотный, слитой, с крупными трещинами между столбами. Корней мало, граница перехода по структуре, по вскипанию от HCl.

B<sub>2к</sub> (37-60 см) Горизонт гумусовых затёков, крупных (примерно 70%), тёмно-серо-буроватого цвета, с более тёмной каймой по краям, между ними - вертикальные языки, скопление карбонатов белёсого цвета, бурые включения. Весь горизонт кипит от HCl, сухой, плотный, с комковато-ореховатой структурой, переход по окончанию большей части затёков, отдельные встречаются до глубины 70-80 см, тёмно-бурого цвета, размытые.

B<sub>к</sub> (60-85 см) Желтовато-бурая глина с тёмно-серыми размытыми затёками и норами землероев. Орехово-комковатая структура, интенсивное вскипание от HCl, корней почти нет. Книзу появляются пятна с зёрнами железо-марганцевых конкреций, переход по цвету постепенный.



BC<sub>g</sub> (85-100 см) Желтовато-коричневая глина с пятнами желтовато-бурого цвета, (заполнение вышележащих нор). Очень интенсивно вскипает от HCl, имеются включения железо-марганцевые конкреции.

#### Р. 9-11 (оборонительный вал)

Заложен на западной бровке раскопа, представляет собой сложный профиль на оборонительном валу: под новообразованными гумусовыми горизонтами - насыпь и погребенные почвы. В месте заложения разреза отобраны образцы на споропыльцевой и радиоуглеродный анализы.

Описание разреза:

A<sub>д</sub> отсутствует, вытопан в процессе проведения археологических раскопок.

A<sub>1</sub>(0-5см) Серый, сухой, глинистый, столбчатая структура, плотный, пронизан корнями травянистых растений, переход в следующий горизонт четкий, по цвету.

A<sub>1</sub> (5-10см) Светло-серый, значительно светлее вышележащего, очень плотный, глинистый, неясно-столбчатая структура, в отличие от рядом расположенных участков вне вала, несильно выделяется по цвету. Переход постепенный. Много мицелия белого цвета.

Насыпь (10-60 см) Неоднородный по цвету, на общем сером фоне - жёлтые, рыжие, тёмные пятна с неясными контурами. Глинистый, комковатая структура, плотный. Корней меньше, встречаются включения кирпичного цвета, разные участки насыпи отличаются по плотности.

Нижняя часть (50-58 см) чуть более светлая, прослеживается одной линией, предположительно – это снятый с других поверхностей дёрн, переход ясный, по цвету.

[A<sub>1</sub>] (58-75 см) Погребенные почвы вала тёмно-серый, глинистый, комковато-ореховатая структура, есть норы, заполненные бурым содержимым. Множество очень мелких, равномерно разбросанных белых, с отложениями солей, корней. Переход постепенный, по цвету и структуре.

[B<sub>1</sub>] (75-85 см) Чуть более бурый, структура менее выражена, аналогично вышележащему горизонту, встречаются белесоватые короткие корешки. Переход постепенный, по появлению затёков.



[B<sub>2</sub>] (85-90 см) Слабые затёки (3-4 см), гумуса на общем рыжевато-буром фоне. Переход по вскипанию от HCl.

[B<sub>k</sub>] (90-145 см) Рыжевато-жёлто-бурая глина. Интенсивно вскипает от HCl, имеются отдельные гумусированные затёки до глубины 140 см. Встречаются отдельные корни. На глубине 130 см - большая нора, заполненная тёмным содержимым. Имеются небольшие поры, переход по цвету, ясный.

BC<sub>g</sub> (145-160 см) Отличается от вышележащих сизоватым оттенком, вскипает от HCl.

Вскипание с глубины 5 см, но не сплошное, примерно 50% от площади, после 10 см вскипание по отдельным пятнам до глубины погребенных горизонтов, где оно не отмечено.

Таким образом, по морфологическим признакам в районе исследования сформировались солонцы, об этом свидетельствует наличие солонцового горизонта с крупностолбчатой структурой, четко фиксируемых надсолонцового и подсолонцового горизонтов, имеются скопления солей как вокруг корней, так и отдельно от них, вскипание от HCl идёт практически с поверхности.

Антропогенно нарушенные почвы отличаются от фоновых прежде всего наличием погребенных горизонтов и культурного слоя. Дернина в разрезе, заложенном на валу, в отличие от фонового разреза, отсутствует. Гумусовый горизонт антропогенно нарушенных почв развит слабее и по цвету светлее, чем аналогичный горизонт фоновых, но плотнее и в нём присутствует белый мицелий; в фоновом разрезе присутствует также пахотный горизонт. Погребенный гумусовый горизонт отличается от фонового более темным цветом и комковато-ореховатой структурой (фоновый имеет комковато-пластинчатую). Погребенный горизонт B<sub>1</sub> отличается от фонового меньшей плотностью и наличием корней. Погребенный горизонт B<sub>2</sub> развит слабее и имеет более слабые гумусовые затёки, чем аналогичный фоновый, а также слабее вскипает от HCl. Погребенный карбонатный горизонт более яркий по цвету, развит сильнее, чем фоновый B<sub>карб</sub>. В горизонтах B<sub>карб</sub> и BC фоновых почв встречаются железомарганцевые конкреции, чего нет в аналогичных погребенных горизонтах антропогенно нарушенных почв.

### **3.6.2. Физико-химическая характеристика почв.**

Антропогенно нарушенные и фоновые почвы заметно отличаются по величине pH: гумусовые горизонты фонового разреза более кислые (pH=6,67-6,77), чем аналогичные

горизонты почв на валу. Фоновые почвы дают слабощелочную реакцию на глубине 20-37 см, ниже этой отметки идут щелочные почвы. Почвы на валу с поверхности дают слабощелочную реакцию, затем погребенный горизонт [А] даёт нейтральную реакцию, ниже этого горизонта все образцы, имеют щелочную реакцию (рН=8,25-8,93).

В пахотном горизонте фоновых почв обеспеченность подвижными фосфатами также высокая, затем в А солонцовом горизонте количество фосфатов уменьшается до 0,77 мг/100 г, в В солонцовом вновь возрастает, в В2 карбонатном и В карбонатном горизонтах содержание фосфатов оценивается как очень низкое, к горизонту ВС их количество возрастает, насыщенность этого горизонта принимается за среднюю (2,24 мг/100 г). В антропогенно нарушенных почвах обеспеченность подвижными фосфатами высокая (обеспеченность приводится по Аринушкиной, 1970, Кауричеву, 1973) в гумусовом горизонте и в культурном слое, до 11,27 мг/100 г. На глубине 50-58 см содержание подвижных фосфатов уменьшается (рис. 3.6.2.1).

Таблица 3.6.2.1.

Некоторые агрохимические показатели антропогенно нарушенных и фоновых почв поселения Каменный Амбар

Номер образца	Горизонт, глубина	рН		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,	K <sub>2</sub> O,	Na <sub>2</sub> O,	Емкость поглощения, мг-экв/100 г
		H <sub>2</sub> O	KCl	мг/100 г			
Разрез 9-11 (оборонительный вал)							
1	А, 0-5	7,65	7,43	3,19	5,36	572,10	84,56
2	А, 5-10	7,86	7,37	8,69	5,14	472,52	65,17
3	КС, 10-30	7,87	7,5	11,25	4,92	574,05	67,11
4	КС, 30-50	7,78	7,39	4,28	3,59	540,86	69,71
5	КС, 50-58	7,65	7,28	2,24	3,50	576,00	80,85
6	[А], 58-75	6,78	6,76	0,35	3,44	587,72	91,56
7	[В <sub>1</sub> ], 75-85	8,65	7,58	0,51	3,59	501,81	76,43
8	[В <sub>2</sub> ], 85-90	8,29	7,73	1,25	3,59	550,62	75,55
9	В <sub>к</sub> , 90-110	8,44	7,79	0,26	3,52	870,91	77,70
10	В <sub>к</sub> , 110-130	8,45	7,57	1,12	3,54	359,05	46,33
11	В <sub>к</sub> , 130-145	8,25	7,64	0,29	3,57	327,53	42,55
12	BCg, 145-160	8,93	7,65	0,02	3,57	299,27	41,65
Разрез 12-11 (фон)							
13	Ад, 0-1	6,77	5,9	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
14	Апах, 1-10	6,67	6,49	3,83	5,38	4,71	39,25

15	Asl, 10-20	6,79	6,57	0,77	4,05	5,79	34,35
16	Bsl, 20-37	7,71	7,06	3,51	4,62	135,14	24,92
17	B <sub>2</sub> к, 37-60	9,24	8,21	0,40	4,79	466,66	60,59
18	Вк, 60-85	9,08	8,05	0,03	4,27	359,05	64,45
19	BCд, 85-100	9,22	8,13	2,24	3,54	321,01	65,35

Содержание калия по профилю колеблется, наиболее обеспечены этим элементом гумусовые горизонты обоих разрезов, причём фоновый – в меньшей степени. Солонцовые А и В горизонты также отличаются большим содержанием ионов калия (4,05-4,62 мг/100 г). Обеспеченность гумусовых горизонтов обоих разрезов характеризуется как низкая, обеспеченность остальных – очень низкая, что мы можем видеть из графика.

Содержание обменного калия в культурном слое уменьшается с увеличением глубины. Содержание  $K^+$  в погребенных слоях невелико (0,35-1,25 мг/100 г), меньше, чем в аналогичных дневных горизонтах (1,12-3,19 мг/100 г).

В ходе исследования подвижных элементов почв было показано, что содержание обменного  $Na^+$  в надсолонцовом горизонте фоновых почв составляет 0,25 мг/100 г, в солонцовом – 5,88 мг/100 г. Процент обменного  $Na^+$  от ЕКО не менее 21,36 %, кроме гумусовых горизонтов фоновых почв (0,52-0,73%), что позволяет отнести исследуемые почвы к солонцам. В антропогенно нарушенных почвах, в отличие от фоновых, отсутствует надсолонцовый горизонт, обогащенность подвижными фосфатами КС высокая, до 11,25 мг/100 г.

В карбонатном горизонте антропогенно нарушенных почв калия в разы меньше, чем в аналогичном фоновом горизонте, содержание калия в горизонтах ВС обоих разрезов примерно равно 3,5 мг/100 г.

Почвы обоих разрезов имеют в своем составе много натрия, его особенно много его в культурном слое, до 576 мг/100 г. Горизонт А антропогенно нарушенных почв до глубины 5 см также богат ионами натрия. Горизонт А пахотный фонового разреза напротив, беден ионами натрия. С глубиной количество его уменьшается в обоих разрезах.

В засоленных почвах большое значение имеет количество и содержание водорастворимых солей. Степень засоленности определяется по величине плотного остатка, она позволяет судить об общем содержании растворимых веществ в почве, соотношении растворимых минеральных и органических соединений и распределении их по профилю. В незасоленных почвах плотный остаток на всем протяжении профиля не

превышает 0,25 %. В солонцах колеблется от 0,25 до 1 %, а в солончаках он ни в одном из горизонтов почвы не опускается ниже 1% (Геннадиев, Глазовская, 2005).

Анализ водной вытяжки показал, что почвы относят к средnezасоленным, т.к. количество плотного остатка колеблется от 0,15 (гумусовые слои фоновых почв) до 1,09% (верхняя часть КС). В целом антропогенно нарушенные почвы засолены сильнее, чем фоновые. Тип засоления по катионам – натриевый ( $\text{Na}^+$  до 25,5 мг-экв/100 г), по анионам – смешанный, т.к. присутствуют хлоридный ( $\text{Cl}^-$  до 5,9 мг-экв/100 г), хлоридно-сульфатный и сульфатный ( $\text{SO}_4^{2-}$  до 10,58 мг-экв/100 г) типы засоления. Содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  (до 11,8 мг-экв/100 г) и  $\text{Cl}^-$  (5,9 мг-экв/100 г) в антропогенно нарушенных почвах больше, чем в фоновом горизонте (до 5,6 и 1,4 мг-экв/100 г соответственно). Водорастворимого  $\text{Na}^+$  (до 25 мг-экв/100 г) в них больше, чем в фоновом горизонте (до 20 мг-экв/100 г).

Проведя необходимые вычисления, было показано, какой тип засоления характерен для каждого горизонта (таблица 3.6.2.2). Изучаемые почвы – солонцы степные, по типу засоления – смешанные, так как присутствуют сульфатный, хлоридный, хлоридно-сульфатный типы засоления. В целом изученные почвы (как фоновые, так и антропогенно нарушенные) имеют тип засоления по катионам – натриевый, по анионам – хлоридный и хлоридно-сульфатный.

Таблица 3.6.2.2.

Тип засоления антропогенно нарушенных и фоновых почв  
поселения Каменный Амбар

Номер образца	Горизонт, глубина	Тип засоления	
		по анионам	по катионам
Разрез 9-08 (оборонительный вал)			
1	А, 0-5	Хлоридный	Натриевый
2	А, 5-10	Хлоридный	Натриевый
3	КС, 10-30	Хлоридно-сульфатный	Натриевый
4	КС, 30-50	Сульфатный	Натриевый
5	КС, 50-58	Хлоридный	Натриевый
6	[А], 58-75	Хлоридный	Натриевый
7	[В1], 75-85	Хлоридный	Натриевый
8	[В2], 85-90	Хлоридный	Натриевый
9	Вк, 90-110	Хлоридно-сульфатный	Натриевый
10	Вк, 110-130	Сульфатный	Натриевый



11	Вк, 130-145	Сульфатный	Натриевый
12	BCg, 145-160	Хлоридно-сульфатный	Натриевый
Разрез 12-08 (фон)			
14	Апах, 1-10	Хлоридно-сульфатный	Калиевый
15	Аsl, 10-20	Хлоридный	Натриевый
16	Вsl, 20-37	Хлоридно-сульфатный	Натриевый
17	В2к, 37-60	Хлоридно-сульфатный	Натриевый
18	Вк, 60-85	Сульфатный	Натриевый
19	BCg, 85-100	Хлоридно-сульфатный	Натриевый

Вычислив степень солонцеватости почв, можно сделать вывод, что антропогенно нарушенные и фоновые почвы относятся к солонцам. Только два горизонта – А пахотный и А солонцовый фоновых почв – имеют процентное соотношение обменного натрия к емкости поглощения меньше 1%, но это связано с процессами рассоления. Таким образом, содержание солей в фоновом разрезе колеблется от 0,52 до 30,48%, а в разрезе, заложенном на валу – от 27,91 до 48,73%.

Почвы глубококарбонатные, так как интенсивное вскипание от HCl идет с глубины ниже 40 см. Мощности надсолонцовых горизонтов составляют примерно 10см, поэтому почвы можно отнести к мелким.

Таблица 3.6.2.3.

#### Содержание органического углерода в почве

Горизонт	Глубина,	Содержание	Горизонт	Глубина,	Содержание
Разрез 12-08 (Каменный Амбар, фоновый)			Разрез 9-08 (Каменный Амбар, вал)		
Апах	1-10	2,69	А	0-5	2,92
Апах	10-20	3,56	А	5-10	1,56
Вsl	20-30	2,66	[А]	58-75	1,31
			[В]	75-85	1,02

Содержание общего углерода в фоновых почвах поселения Каменный Амбар колеблется от 3,56 до 2,66 %, в погребенных горизонтах содержание общего углерода ниже и составляет 1,31 – 1,02%.

Мы можем определить содержание углерода на момент погребения. По литературным данным, наибольшее уменьшение общих запасов гумуса наблюдается в первые 100 – 170 лет; принимая во внимание, что со временем количество углерода еще более снижается, в почвах 3200-2800-летних сохраняется только 52 % от бывшего количества (Орлов, 2005, Иванов, 1978).

Таблица 3.6.2.4 наглядно показывает, что значения общего углерода на момент погребения были ниже, чем в современном гумусовом горизонте.

Таблица 3.6.2.4.

Содержание углерода на момент погребения (%)

Горизонт	Глубина, см	Содержание	Содержание углерода
Разрез 9-08 (вал Каменный Амбар)			
[A]	58-75	1,31	2,39
[B1]	75-85	1,02	1,85

В лабораторных условиях отобранные нами почвенные образцы были проанализированы на общее содержание углерода (по методу Тюрина), на качественный состав гумуса (по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой).

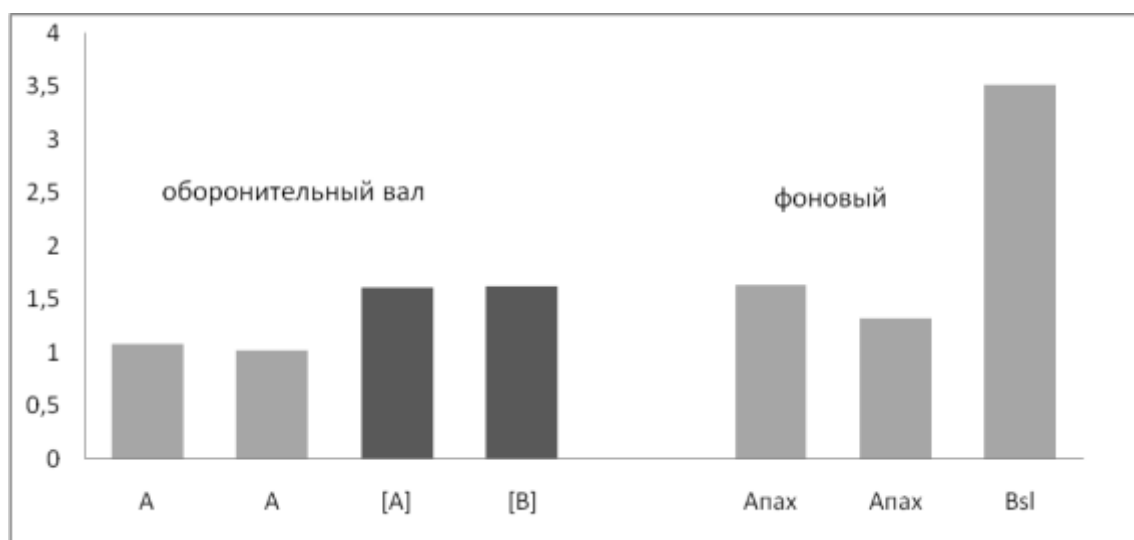


Рис. 3.6.2.1. Отношение содержания углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот на археологическом памятнике Каменный Амбар (темно-серым цветом показаны погребенные горизонты).

Разрез 12-08 (фон). Наблюдается значительное уменьшение количества углерода с глубиной. Преобладание фракций, связанных с кальцием по всему почвенному профилю. Низкие значения ФК-3 наблюдаются по всему профилю. По соотношению  $\Sigma_{ГК} / \Sigma_{ФК}$  относятся к фульватно-гуматному типу гумуса.

Разрез 9-08 (вал). В погребенных почвах наблюдается значительное уменьшение количества углерода по сравнению с фоновыми в 2 раза. Преобладание фракций, связанных с кальцием по всему почвенному профилю. По соотношению  $\Sigma_{ГК} / \Sigma_{ФК}$  погребенные почвы относятся к фульватно-гуматному типу гумуса.

### 3.6.3. Содержание тяжелых металлов.

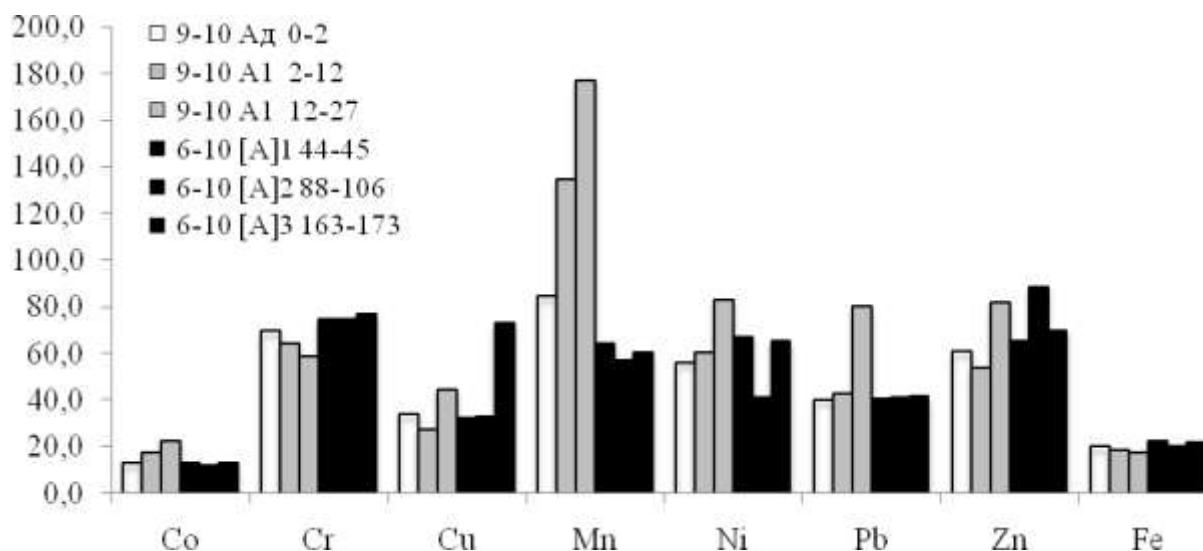


Рис. 3.6.3.1. Содержание ТМ в дернине (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г). Барнаульское Приобье.

Содержание Co, Cr, Ni, Zn и Fe изменяется в близких пределах в верхних гумусированных горизонтах фонового чернозема южного и трех погребенных почвах различного геологического возраста. Концентрация Mn в активно функционирующей в настоящее время почве значительно превышает таковую в каждой древней почве, достигая на глубине 12-27 см 1770 мг/кг, что в 2,5 раза превышает ПДК. В этом же слое отмечается накопление Pb, содержание которого выше по профилю почвы в 2 раза меньше. Наибольшее количество меди также выявлено в этом горизонте, ее содержание достигает 72,9 мг/кг, что лежит в пределах ОДК для нейтральных суглинистых почв.

Таким образом, как позднеплейстоценовые, так и раннеголоценовая погребенные почвы Барнаульского Приобья не загрязнены ни одним из определенных в них ТМ.

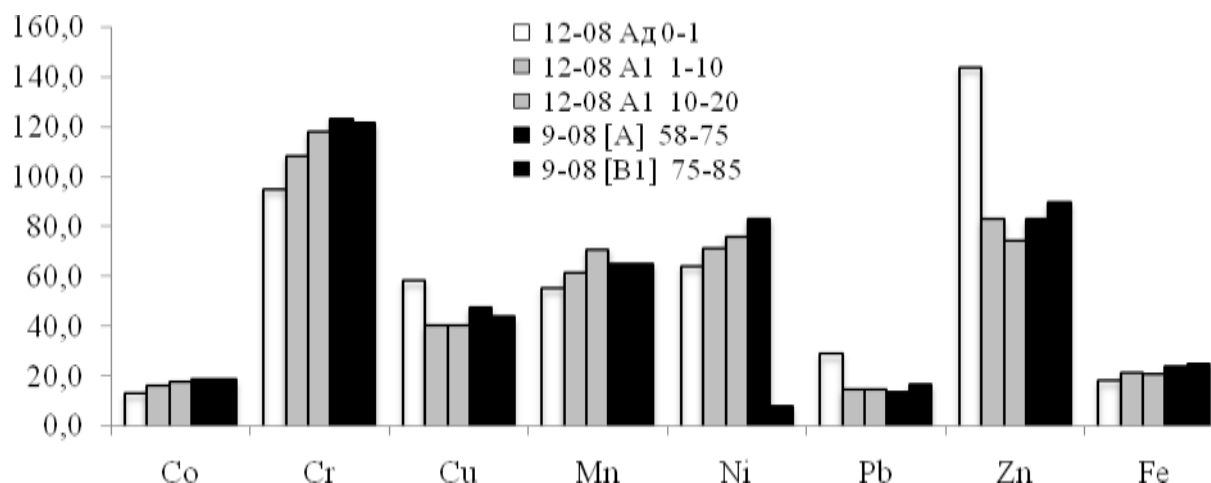


Рис. 3.6.3.2. Содержание ТМ в дернине (белый фон), в дневных (серый фон) и погребенных (темный фон) гумусовых горизонтах, мг/кг почвы (Mn – мг/100г, Fe – мг/г). Поселение Каменный Амбар.

Среди изученных ТМ содержание Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Fe и Cd варьирует в верхней толще фонового солонца и погребенных гумусовых горизонтах в достаточно близких пределах. По этим элементам обе почвы являются незагрязненными. Количество двух других элементов различается в сравниваемых почвах. Наименьшее содержание Ni приурочено к горизонту [B1], составляя 8 мг/кг почвы. Горизонтом накопления Zn является самый верхний дерновый горизонт дневной почвы, где содержание этого ТМ равно 143,5 мг/кг почвы, что не превышает значения ОДК для данного элемента.

Таким образом, как фоновый солонец, так и погребенная около 4 тысяч лет почва не загрязнены ни одним из исследуемых ТМ.

### 3.7. Содержание тяжелых металлов в гуминовых кислотах почв.

Был проведен анализ уровня содержания ряда микроэлементов в преобладающих в почвенном покрове на территории заповедника «Аркаим» в долине реки Большая Караганка (Южный Урал) черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах. Территория заповедника не испытывает локальную техногенную нагрузку, хотя в целом для Южноуральского региона характерна высокая концентрация экологически вредных производств.

Почвы наследуют уровень валового содержания микроэлементов в почвообразующих породах. В процессе почвообразования вследствие особенностей гранулометрического состава, реакции среды может происходить потеря элементов или их

перераспределение, например биогенное накопление в гумусовом горизонте. Кроме того, на поверхность почв постоянно происходит поступление различных веществ (в том числе содержащих микроэлементы) из атмосферы, куда они в настоящее время попадают преимущественно из антропогенных источников.

Значительное участие в судьбе микроэлементов в почве принимает органическое вещество. Вопросы, связанные с ролью гумусовых веществ в удержании и накоплении микроэлементов в поверхностных почвенных горизонтах, активно изучаются на протяжении последних пяти десятилетий (Манская, Дроздова, 1964; Степанова, 1976; Перельман, 1975; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Мотузова, 1999; Ильин, Сысо, 2001; и др.). В почвах наблюдается положительная связь между содержанием гумуса и концентрацией микроэлементов благодаря способности гумусовых веществ прочно связывать и поглощать их. Большое количество функциональных групп, имеющих сродство с ионами металлов у гуминовых кислот ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{COOH}$ ,  $\text{SH}$ ,  $\text{CO}_2\text{H}$ ), позволяет тяжелым металлам образовывать с ними комплексные соединения. Взаимодействия между металлами и гумусовыми веществами разнообразны: ионный обмен, сорбция на поверхности, хелатообразование, коагуляция и пептизация (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Органическое вещество почвы может также образовывать связи с анионогенными элементами, такими как B, I, Se.

В экспериментах с чистыми гуминовыми и фульвокислотами выявлено, что первые образуют комплексы с Cu, Zn, Pb, Mn во много раз лучше, чем вторые, при этом максимальная доля Cu связывается гуминовой кислотой при pH 4-5.

Гуминовые кислоты образуют как отчасти растворимые комплексы с металлами (с Mn, Co, Ni), так и комплексы, нерастворимые в воде (с Cu, Fe и Cr). Из всех ионов металлов наибольшее удержание гуминовой кислотой наблюдается у Fe, Cu, Zn. Выявлено возрастание устойчивости комплексов металлов с гуминовыми кислотами с ростом pH от 3 до 7. Установлено, что чем ниже содержание металла, тем выше энергия связывания в металлоорганические соединения.

Ввиду плохой растворимости комплексов гуминовых кислот с тяжелыми металлами, особенно в кислой среде, их можно рассматривать как органический запас тяжелых металлов в почве (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Имеется предположение, что в минеральных почвах более 50% общего содержания микроэлементов приходится на органическое вещество, но следует отметить, что чаще всего оценки способности гуминовых кислот удерживать металлы даются на основании экспериментов с воздушно-сухими гуминовыми кислотами.

Таким образом, доля находящихся в почве микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, значительна, однако данные о содержании различных микроэлементов в гуминовых кислотах почв весьма немногочисленны.

Изучался микроэлементный состав гуминовых кислот черноземов обыкновенных среднесуглинистого состава в верхней толще профиля (до горизонта АВ включительно), подстилаемых легкими суглинками, сменяющихся супесями и песком (Некрасова, 2002). Почвы функционируют в условиях целинной полынно-типчаково-ковыльной степи, проективное покрытие травянистого яруса составляет 60-70%.

По содержанию гумуса в верхнем 15-см слое почвы относятся к высокогумусным ( $C_{\text{общ.}}$  – 6-9%). Они характеризуются высокой долей гуминовых кислот в горизонте А, среди которых существенно преобладают связанные с кальцием формы (фракция 2). ГК, выделяемые щелочными экстрагентами после декальцирования (сумма фракций 1+2), составляют в гумусовых горизонтах наибольшую долю от общего органического углерода 23-25%. Гуминовые кислоты верхних гумусовых горизонтов более обуглерожены, содержание углерода в них варьирует от 50 до 56% от массы препарата.

Почвенные образцы отбирались сплошной колонкой каждые 2–10 см в пределах границ горизонтов. Гуминовые кислоты выделялись из 0,1n NaOH вытяжки после предварительного декальцирования путем их осаждения 2n HCl, с последующим растворением в щелочи и переосаждением (Дергачева и др., 2002).

Микроэлементный состав почв и их важнейшего компонента - гуминовых кислот определялся атомно-эмиссионным спектральным методом.

Анализ результатов изменения микроэлементного состава в трех разрезах, вскрывающих черноземы обыкновенные с глубиной (табл. 3.7.1), позволяет отметить, что содержание отдельных элементов в одних и тех же горизонтах может различаться иногда почти в 2 раза (Cr, Mo, V). Для почв степных и лесостепных условий формирования отмечается (Протасова и др., 1992), что концентрация большинства микроэлементов в одних и тех же почвенных типах варьирует в больших пределах в зависимости от гумусированности, величины pH, емкости поглощения, гранулометрического состава, карбонатности.

Среднее содержание определяемых элементов лежит в пределах, не превышающих ПДК. Хотя территория Южного Урала испытывает значительную антропогенную нагрузку, в целом почвы не загрязнены. Подобное заключение совпадает со сделанным ранее для данной территории (Еремченко, 1997; Некрасова, 2002). Незагрязненность изучаемых почв имеет принципиальное значение, поскольку в зонах постоянной

интенсивной химической нагрузки на ландшафт почвенный защитный барьер от загрязнений срабатывает недостаточно эффективно (Добровольский, Никитин, 2006). Следовательно, изучая содержание ТМ и других микроэлементов в почвах и их гуминовых кислотах на относительно чистых территориях, можно оценить вклад одного из компонентов гумусовых веществ в их связывание, при этом полученные результаты будут свидетельствовать лишь о частичных возможностях ГК.

В гуминовых кислотах черноземов обыкновенных не обнаружены следующие элементы: Be, Bi, Cd, Y –  $<3 \cdot 10^{-5}\%$ ; In, Nb, Sc, Pd –  $<3 \cdot 10^{-4}\%$ ; Au, Co, Ge, Hf, Pt –  $<4 \cdot 10^{-4}\%$ ; La, Sb, Ta, Te, W –  $<1 \cdot 10^{-3}\%$ ; As, Hg –  $<3 \cdot 10^{-3}\%$ . Выявлено 18 элементов, большая часть которых является микроэлементами (табл.3.7.2). Присутствие мышьяка и ртути не зафиксировано ни в гуминовых кислотах, ни в почвенной массе. Относительное стандартное отклонение, характеризующее погрешность анализа, составляет 0,05-0,2.

Содержание отдельных микроэлементов было пересчитано на ГК почвы (в мг/кг). Для этого учитывалось содержание общего органического углерода в почве, % ГК, содержание микроэлементов в препарате ГК и массовый % углерода в ГК. Подобный пересчет позволяет оценить вклад гуминовых кислот в связывание микроэлементов почвами (табл. 3.7.1).

Наибольшая доля среди связанных с гуминовыми кислотами микроэлементов характерна для Cu. В среднем на ГК приходится 12,8% меди от ее валового содержания в почве, максимальное значение составляет 51,6%. Способность гуминовых кислот образовывать устойчивые соединения с медью, когда она присутствует в малых количествах, отмечалась для этого элемента ранее (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). М.Д. Степановой (1976) установлено, что на долю органического вещества в черноземе выщелоченном приходится 32-36% валового содержания меди, при этом гуминовые кислоты связывают около 10% из них. Таким образом, полученные для ГК разных типов черноземов уровни содержания меди имеют сопоставимые значения.

Считается, что содержание молибдена в почвах обычно близко к его концентрации в материнских породах. Содержание этого элемента в почвах мира варьирует в пределах 0,013-17,0 мг/кг. Отличительной особенностью Мо является низкая растворимость в кислых почвах и подвижность в щелочных. Гуминовые кислоты почв Южного Урала вносят значительный вклад в связывание Мо: от 0,3 до 24% (в среднем 8,2%) от валового содержания в почве этого микроэлемента приходится на них, что более чем в 2 раза меньше значений, полученных для более северных черноземов другими исследователями

(Степанова, 1976). В целом вклад гуминовых кислот в связывание Мо снижается с глубиной гумусированной почвенной толщи.

Остальные микроэлементы обнаружены в составе гуминовых кислот в значительно меньших количествах. Так, на долю гуминовых кислот приходится не более 1,7% хрома, содержащегося в почве, что согласуется с представлениями о том, что большая часть хрома в почвах присутствует в виде  $\text{Cr}^{+3}$  и входит в состав минералов или образует различные оксиды.

Гуминовые кислоты удерживают в среднем 0,5% от валового содержания цинка. Количественные оценки распределения Zn по почвенным компонентам других авторов (Зырин и др., 1976) следующие: органические комплексы цинка составляют 1,5-2,3%, легкоподвижные формы 1-20%, ассоциации с оксидами полуторных окислов 14-38% и с глинистыми минералами 24-63%. Полученные нами результаты подтверждают возможность цинка ассоциироваться в комплексы с органическим веществом в небольших количествах.

Вклад гуминовых кислот в связывание никеля почвой в среднем составляет 0,5%. Имеются данные о том, что хотя органическое вещество способно мобилизовать никель из карбонатов и оксидов, а также уменьшить его сорбцию глинами, степень связывания этого металла с органическими лигандами не может быть особенно высокой (Блумфилд, цит. по Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Несмотря на то, что в распределении никеля и кобальта в земной коре имеется большое сходство, последний микроэлемент в гуминовых кислотах черноземных почв не был обнаружен.



Таблица 3.7.1.

## Микроэлементный состав черноземов обыкновенных

Горизонт	Глубина, см	Содержание МЭ в почве (мг/кг),											
		Ag	Cr	Cu	Mn	Mo	Zn	Ni	Pb	V	Ti	Co	Sb
Разрез 9511													
A <sub>д</sub>	0-5	2	100	40	520	8	90	50	50	130	1900	19	He опр.
A	5-10	0,6	100	40	540	8	90	50	40	150	2100	24	He опр.
	10-16	0,6	90	30	560	8	60	50	30	140	2600	25	He опр.
AB	16-20	3	70	30	470	6	40	50	30	90	1500	18	He опр.
Разрез 9512													
A <sub>д</sub>	0-3	<0,5	70	40	800	4	110	40	40	100	1500	20	6
A	3-10	0,5	80	30	1000	4	70	40	30	120	2000	20	4
	10-15	0,5	80	40	700	4	90	50	30	100	1500	20	4
	15-20	0,3	100	30	700	5	100	70	40	150	2900	30	20
	20-25	0,3	80	20	400	4	90	40	30	80	1300	20	He опр.
AB	25-32	0,3	100	50	700	4	120	50	60	80	1700	20	He опр.
	32-39	0,6	120	50	600	6	130	90	40	100	2000	50	He опр.
Разрез 9513													
A <sub>д</sub>	0-3	0,5	130	60	600	8	140	80	40	160	2500	20	He опр.
A	3-10	0,7	100	40	800	6	100	80	30	140	2000	3	He опр.
	10-15	0,6	100	50	300	5	80	70	30	110	2000	20	He опр.
	15-20	0,5	100	40	800	5	70	70	30	90	1000	20	He опр.

Таблица 3.7.2.

## Содержание микроэлементов в гуминовых кислотах почв

Горизонт	Глубина, см	C <sub>общ.</sub> , %	%ГК	Мас. % C	Содержание МЭ на углерод ГК почвы <u>мг/кг ГК</u>											
					Ag	Cr	Cu	Mn	Mo	Zn	Ni	Pb	V	Ti	Co	Sb
Разрез 9511																
A <sub>д</sub>	0-5	7,19	30,5	56,0	<u>0,01</u>	<u>1,17</u>	<u>5,09</u>	<u>0,16</u>	<u>1,17</u>	<u>0,16</u>	<u>0,35</u>	<u>0,39</u>	<u>0,16</u>	<u>5,87</u>	<u>0,00</u>	не опр.
A	5-10	4,91	33,5	52,1	<u>0,00</u>	<u>0,63</u>	<u>3,16</u>	<u>0,16</u>	<u>0,63</u>	<u>0,63</u>	<u>0,28</u>	<u>0,32</u>	<u>0,03</u>	<u>9,47</u>	<u>0,00</u>	не опр.
	10-16	2,83	33,9	53,6	<u>0,01</u>	<u>0,36</u>	<u>1,79</u>	<u>0,04</u>	<u>0,04</u>	<u>0,11</u>	<u>0,07</u>	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	<u>3,58</u>	<u>0,00</u>	не опр.
AB	16-20	2,16	18,5	52,5	<u>0,00</u>	<u>0,38</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,69</u>	<u>0,15</u>	<u>0,02</u>	<u>0,23</u>	<u>4,57</u>	<u>0,00</u>	не опр.
Разрез 9512																
A <sub>д</sub>	0-3	7,75	31,9	51,5	<u>0,02</u>	<u>0,96</u>	<u>20,64</u>	<u>0,10</u>	<u>0,96</u>	<u>0,24</u>	<u>0,48</u>	<u>0,10</u>	<u>0,07</u>	<u>1,92</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
A	3-10	5,27	44,0	50,0	<u>0,02</u>	<u>1,39</u>	<u>10,20</u>	<u>0,19</u>	<u>0,93</u>	<u>0,23</u>	<u>0,70</u>	<u>0,14</u>	<u>0,28</u>	<u>6,03</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	10-15	3,48	46,1	55,5	<u>0,01</u>	<u>0,58</u>	<u>4,62</u>	<u>0,12</u>	<u>0,58</u>	<u>1,16</u>	<u>0,29</u>	<u>0,06</u>	<u>0,09</u>	<u>3,47</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	15-20	2,66	54,3	53,0	<u>0,01</u>	<u>0,58</u>	<u>4,62</u>	<u>0,12</u>	<u>0,58</u>	<u>1,16</u>	<u>0,29</u>	<u>0,06</u>	<u>0,09</u>	<u>3,47</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	20-25	1,84	45,9	54,0	<u>0,00</u>	<u>0,47</u>	<u>6,26</u>	<u>0,23</u>	<u>0,31</u>	<u>0,31</u>	<u>0,16</u>	<u>0,05</u>	<u>0,16</u>	<u>7,04</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
AB	25-32	1,63	31,6	49,9	<u>0,00</u>	<u>0,46</u>	<u>3,61</u>	<u>0,21</u>	<u>0,21</u>	<u>0,52</u>	<u>0,10</u>	<u>0,01</u>	<u>0,10</u>	<u>4,95</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	32-39	1,07	32,8	48,5	<u>0,00</u>	<u>1,66</u>	<u>1,30</u>	<u>0,18</u>	<u>0,22</u>	<u>0,36</u>	<u>0,14</u>	<u>0,01</u>	<u>0,14</u>	<u>0,49</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
Разрез 9513																
A <sub>д</sub>	0-3	6,45	23,5	54,6	<u>0,01</u>	<u>0,28</u>	<u>1,67</u>	<u>0,06</u>	<u>0,56</u>	<u>0,56</u>	<u>0,14</u>	<u>0,28</u>	не опр.	<u>4,72</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
A	3-10	3,19	23,3	52,6	<u>0,00</u>	<u>0,14</u>	<u>0,71</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,14</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	не опр.	<u>11,30</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	10-15	2,01	28,5	55,5	<u>0,00</u>	<u>0,21</u>	<u>1,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,04</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	не опр.	<u>0,62</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>
	15-20	1,88	26,6	50,9	<u>0,00</u>	<u>0,49</u>	<u>1,67</u>	<u>0,06</u>	<u>0,20</u>	<u>0,04</u>	<u>0,09</u>	<u>0,01</u>	не опр.	<u>4,91</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>

\* - среднее из 2-5 повторностей

Максимальный вклад гуминовых кислот в связывание свинца не превышает 1%, хотя считается, что Pb адсорбируется главным образом глинистыми минералами, оксидами Mn, гидроксидами Fe и Al и органическим веществом. Но органическое вещество как важный потребитель Pb рассматривается для загрязненных почв. Возможно, из-за отсутствия избытка свинца в почве ее ГК связывают в среднем лишь 0,3 % этого тяжелого металла.

Уровни накопления титана гуминовыми кислотами изменяются в пределах 0,1-0,6% от валового содержания в почве, хотя абсолютные его количества превышают во многих ГК содержание преобладающего в них микроэлемента меди. Таким образом, ГК почв активно связывают Ti, но доля их в этом процессе не столь значительна вследствие высокого содержания этого элемента в почве в составе различных минералов (0,15-0,29%).

Ванадий преимущественно приурочен к основным породам и сланцам, в изучаемых черноземах обыкновенных его содержание достаточно велико и варьирует от 80 до 160 мг/кг. Гуминовые кислоты накапливают в своем составе лишь 0,1-0,2% от этого количества, причем и абсолютное содержание этого микроэлемента в составе ГК достаточно низкое.

Сурьме как элементу-неметаллу свойственно увеличение мобильности в щелочной обстановке. Содержание этого микроэлемента в почвах Южного Урала изменяется от 4 до 20 мг/кг, но в составе гуминовых кислот она отсутствует.

В большинстве почв мира на марганец приходится 200-800 мг/кг. Уровни содержания этого элемента в черноземах Большекараганской долины варьируют в пределах 400-1000 мг/кг почвы. Гуминовые кислоты удерживают от этого количества лишь доли миллиграммов, что соответствует менее 0,1% от общего содержания.

Средние концентрации серебра в мировых почвах лежат в пределах 0,01-8 мг/кг. В большинстве случаев содержание серебра в исследуемых степных почвах составляет десятые доли %. Ag связывается гуминовыми кислотами горизонта A<sub>d</sub> (в отдельных случаях ГК содержат его до 4%) и иногда верхней толщ гумусового горизонта, но не глубже 20 см.

Таким образом, для гуминовых кислот черноземов обыкновенных Южного Урала определен микроэлементный состав, позволивший выявить уровень накопления ряда элементов этим компонентом почв. Микроэлементы, образующие ассоциации с гуминовыми кислотами, могут быть расположены в порядке уменьшения их содержания в основном компоненте гумуса степных почв: Cu > Mo > Cr > Zn, Ni > Ti, Pb > V. В составе гуминовых кислот обнаружены незначительные количества (< 0,1 % от валового содержания в почве)

Mn. Ag связывается лишь гуминовыми кислотами верхней части гумусовой толщи. Выявлены элементы (Co и Sb), которые не связываются с основным компонентом гумуса черноземов. Доля микроэлементов, адсорбированных гуминовыми кислотами в степной почве, в среднем составляет 24,3 % от общего содержания в почвах.

Накопление статистически значимого массива данных в дальнейшем позволит оценить вклад гуминовых кислот в биогеоценотические и глобальные функции, выполняемые почвами по отношению к различным природным средам.

#### 4. Отчет по обобщению и оценке результатов исследований

В рамках выполнения работы в качестве объекта исследований были использованы погребенные почвы разновозрастных археологических памятников, находящихся в разных природных зонах (подзонах) (под курганами, оборонительными и ритуальными валами, обваловками жилищ). В качестве объекта сравнения были использованы зональные дневные почвы вблизи изучаемых объектов, а также новообразованные почвы перекрытий.

В течение 2009-2011 гг. в рамках выполнения проекта были осуществлены следующие виды работ:

- 1) полевые исследования почв и отбор почвенных образцов для последующего анализа;
- 2) изучение морфологических и физико-химических свойств почв;
- 3) аналитическое определение содержания ТМ в имеющихся почвенных образцах.

Указанные работы проведены на следующих объектах:

Природная зона (подзона)	Объект	Возраст	Время проведения работ		
			полевые работы	агрохимический анализ	анализ содержания ТМ
Средняя тайга	поселение вблизи пос.Советский (ХМАО)	палеолит, 6 тыс. л.н.	июль 2007; июль 2010	октябрь – декабрь 2010	март 2010
Южная тайга	поселение «Кокшаровские холмы» (Свердловская обл.)	мезолит - неолит	июль 2010	сентябрь-ноябрь 2011	апрель 2010; апрель 2011

	Погребенные почвы в черте г.Екатеринбурга (Свердловская обл.)	предположительно XVIII – XIX вв.	октябрь 2010	-	апрель 2011
Граница южной тайги и северной лесостепи	поселение "Коловское" (Тюменская обл.)	средневековье – бронзовый век (3,0-3,5 тыс. л.н.)	август 2007	март – апрель 2010	май 2011
	поселение Усть-Терсюкское (Тюменская обл.)	ранний железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.) – бронзовый век (3,0-3,5 тыс. л.н.)	июль 2009	февраль – май 2010	май 2011
Северная лесостепь	курган "Бабий Бугор" (Курганская обл.)	ранний железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.)	август 2010	сентябрь – декабрь 2011	февраль 2011
	Казакбаевское городище (Челябинская область)	бронзовый век (3,0-3,5 тыс. л.н.)	август 2009	сентябрь – декабрь 2011	май 2011

	Павлиново городище (Курганская обл.)	ранний железный век (2,3-2,5 тыс. л.н.)	июль – август 2001	октябрь – декабрь 2010	июнь 2011
	укрепленное поселение "Степное" (Челябинская обл.)	бронзовый век (3,5-4,0 тыс. л.н.)	июль 2009	сентябрь – октябрь 2009	февраль 2010; апрель 2011
Южная лесостепь	погребенные почвы Барнаульского Приобья (Алтайский край)	плейстоцен (более 25 тыс. л.н.)	август 2010	февраль – май 2011	январь 2011
Настоящая степь	укрепленное поселение «Каменный Амбар» (Челябинская обл.)	бронзовый век (3,5-4,0 тыс. л.н.)	август 2010; июль 2011	февраль – апрель 2011	июль 2011

#### 4.1. Методология и методы исследования

Используемый нами методологический подход основан на свойстве гумусовых горизонтов служить мощным геохимическим барьером для множества соединений – в том числе – для большинства тяжелых металлов и металлоидов. Ввиду этого появляется уникальная возможность оценить долю антропогенного привноса этих элементов в почвы путем изучения их содержания в погребенных почвах. В то же время, необходимо иметь в виду, что разные элементы имеют разную способность к накоплению в гумусовых горизонтах; кроме того необходимо учитывать множество факторов, которые прямо или

косвенно могут влиять на миграцию соединений микроэлементов как по профилю, так и с поверхностным стоком. Поэтому для корректных выводов необходимо учитывать не только индивидуальные особенности каждого элемента, но и геохимические особенности природных зон, состав почвообразующих пород, элементы рельефа и т.д.

В ходе выполнения исследований проведен комплекс экспериментальных и теоретических работ в соответствии с разработанным планом, включающих выполнение аналитических лабораторных исследований образцов современных относительно незагрязненных почв (находящихся за пределами зоны выбросов предприятий) и древних погребенных почв с целью выбора оптимальных показателей для их последующего сопоставления. При этом были охвачены все природные подзоны Зауралья и Западной Сибири – от средней тайги до настоящей степи.

**Полевые исследования**, включающие в себя морфологические описания почв и отбор почвенных образцов для последующего анализа, в 2010 году были проведены на следующих объектах:

На указанных объектах проведены исследования по следующим направлениям:

- проводилось геоботаническое описание местности в непосредственной близости от заложенных разрезов. Описание растительности производилось согласно справочникам-определителям (Нейштадт, 1963; Травянистые растения..., 1971).

- исследовались антропогенно нарушенные почвы с погребенным почвенным профилем; проведено геоботаническое описание и отбор образцов в соответствии с поставленными задачами;

- исследовались свойства почв на ненарушенных территориях вблизи археологических памятников как фона для сравнения с антропогенно нарушенными почвами.

- отбор почвенных образцов производился в соответствии с поставленными задачами: через каждые 10 см подробно послойно (сплошной колонкой) в пределах генетических горизонтов профиля для последующей их физико-химической характеристики. Отбор проб осуществляется в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 "Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб".

В ходе выполнения экспериментальных работ было изучено содержание следующих микроэлементов: Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Fe. Как было показано, именно эти элементы рассматриваются как основные загрязнители современных почв, они интенсивно



накапливаются на геохимическом барьере, в качестве которого выступает гумусовый горизонт почв автоморфных ландшафтов.

Аналитические исследования почв указанных объектов включали в себя определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом. Пробоподготовка почв для анализа осуществлялась с использованием системы микроволнового разложения MARS-5 (производитель – CEM Corporation). Полученный раствор анализировали на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6500 Thermo Scientific методом градуировочного графика.

#### **4.1. Методы изучения морфологических и физико-химических свойств почв**

Данный этап является неотъемлемой частью выполняемых работ. Общая морфологическая и агрохимическая характеристика современных и погребенных почв необходима, прежде всего, для установления сходства и различий современных и погребенных почв по условиям их формирования: проведение сравнительных характеристик микросостава возможно только при условии однотипности генезиса данных почв.

Оценка свойств почв химическими и физическими методами анализа проводилась по стандартным методикам (Аринушкина, 1970; Вадюнина, Корчагина, 1986; Теория и практика химического анализа, 2006):

- определение pH водной и солевой вытяжки потенциометрическим методом;
- определение подвижного фосфора по Кирсанову и Чирикову (некарбонатные почвы) и по Мачигину (карбонатные почвы) фотометрическим методом;
- определение обменного калия пламеннофотометрическим методом в этих же вытяжках;
- определение обменного натрия пламеннофотометрическим методом в этих же вытяжках;
- определение углерода по Тюрину;
- определение валового состава почв;
- определение группового и фракционного гумуса по Тюрину в модификации Пономаревой и Плотниковой (Пономарева, Плотникова, 1975);
- определение гранулометрического состава почв по Н.А. Качинскому (Вадюнина, Корчагина, 1986).

#### 4.2. Модели и алгоритмы, созданные в результате выполнения проекта

На основе полученных в ходе исследования данных в результате сопоставления параметров микросостава разновременных погребенных почв с таковыми современных дневных, относительно незагрязненных почв, будут построены ретроспективные хроноряды содержания изучаемых элементов в почвах, датируемых интервалом: плейстоцен – современность для каждого из изучаемых показателей (рис.). Хроноряды были получены отдельно по лесной (таежной) зоне и степной с лесостепью.

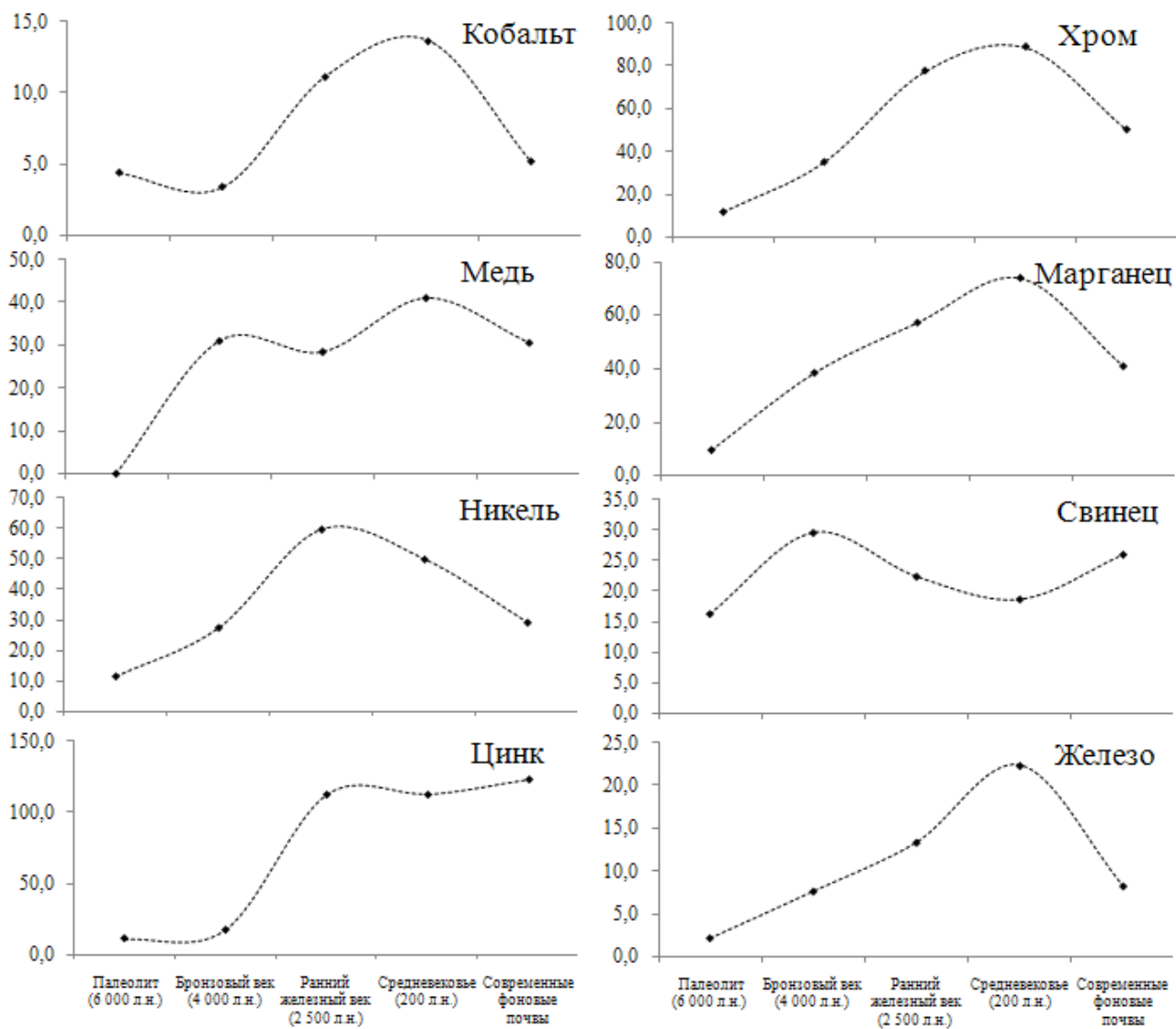


Рис. 4.4.1. Хроноряды изменения концентрации ТМ в почвах лесной (таежной) зоне с палеолита до современности (мг/кг, для Mn – мг/100г, для Fe – г/кг почвы).

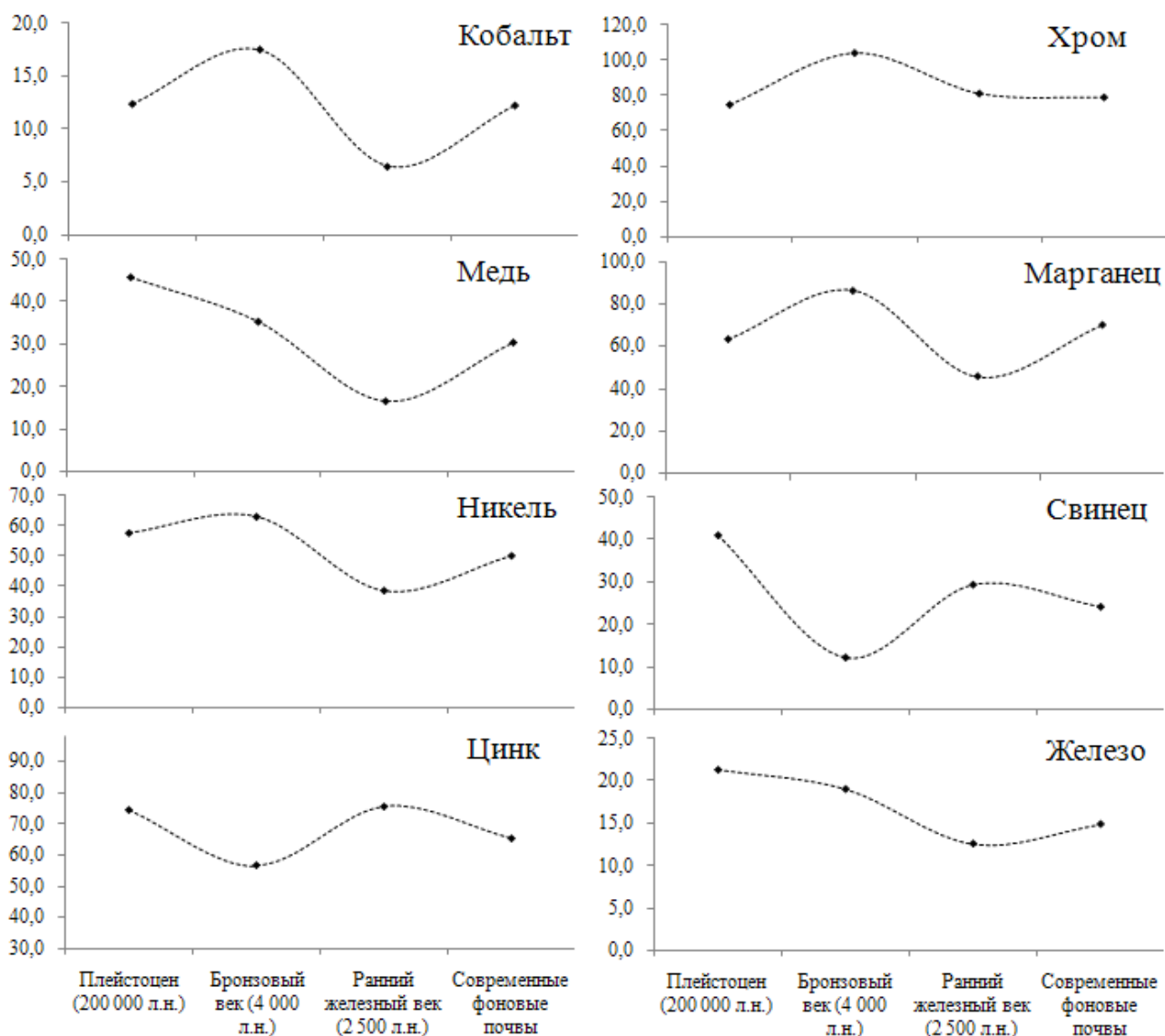


Рис. 4.4.2. Хроноряды изменения концентрации ТМ в почвах в степи и лесостепи с плейстоцена до современности (мг/кг, для Mn – мг/100г, для Fe – г/кг почвы).

Как видно из представленных графиков, в лесной зоне в целом происходило последовательное накопление ТМ в почвах с палеолита до раннего железного века и затем, к современности, содержание ТМ в почвах несколько уменьшилось. В степной и лесостепной зонах картина более сложная: максимум для хрома, кобальта, марганца, никеля отмечен в бронзовом веке; для железа, свинца, меди – в плейстоцене. Такие, казалось бы нелогичные результаты объясняются просто: древние погребенные почвы нами отбирались преимущественно в местах проживания древнего человека, его хозяйствования, древнего

металлургического производства, тогда как в качестве современных выступали относительно незагрязненные почвы, удаленные от мест основных источников загрязнения. Представляется перспективным, на основе полученных нами, по сути – уникальных, данных, сравнение древней среды обитания человека с современной – с концентрациями ТМ в почвах в современных селитебных и промышленных территорий. Пока же можно сделать вполне однозначный вывод о загрязнении среды обитания древнего человека тяжелыми металлами.

Полученные данные позволяют рассчитать коэффициенты техногенной концентрации данного элемента (Кк) относительно фона, в качестве которого выступают погребенные почвы, изолированные от современных техногенных и антропогенных влияний и рассматриваемые как эталонные. В отличие от традиционного подхода, когда для расчета этого коэффициента в качестве числителя используется загрязненная почва, а в качестве знаменателя – фоновая, в предлагаемом нами подходе числителем является современная фоновая дневная почва, возможно подвергшаяся действию глобального атмосферного переноса ТМ, а знаменателем – погребенная почва, изолированная от такого рода влияний.

Ниже приведены примеры рассчитанных таким образом коэффициентов техногенной концентрации элементов.

	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe
Средняя тайга (пос. Советский)	0,62	1,34	> 1	0,86	1,00	0,81	7,35	1,23
Южная тайга (Кокшаровский холм)	0,76	1,04	1,86	1,37	0,73	1,07	1,77	1,00

Как видно из таблицы, в лесной зоне коэффициенты концентрации элемента близки к единице. При этом наибольшими значениями отличаются показатели для цинка и меди. В степной и лесостепной зоне к элементам с коэффициентом техногенности больше единицы также зачастую относятся хром и свинец. К сожалению, необходимо отметить, что одним из «мешающих» факторов, отрицательно сказывающихся на объективности данного показателя, является хозяйственная деятельность древнего человека, в результате которой погребенные почвы, также как и культурный слой, оказываются в значительной степени обогащенными изучаемыми элементами.

#### **4.3. Рекомендации по возможности использования результатов проекта**

На основании результатов, полученных в рамках выполнения НИР, возможно осуществить расчеты ПДК для девяти тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Fe) как по современным фоновым, так и по погребенным почвам. В целом оказалось, что ПДК, рассчитанные этими двумя способами, имеют близкие значения.

Рассчитаны коэффициенты концентрирования отдельных элементов в современных почвах по отношению к почвам, функционировавшим в различные геологические периоды (от позднего плейстоцена до атлантического периода голоцена). Как ПДК, так и коэффициенты концентрирования могут быть использованы при планировании и проведении природоохранных работ, а также для составления нормативных документов в области охраны окружающей среды.

Полученные в результате проведенного научного исследования данные лягут в основу электронного контента для спецкурса «Мониторинг нарушенных земель» магистерской программы «Экологический мониторинг».

Наглядно-иллюстративный материал, собранный в период выполнения НИР, будет включен в презентации общих курсов по географии и почвоведению для студентов биологического факультета.

Полученные закономерности будут сообщены слушателям курсов повышения квалификации при ИПК по программе «Мониторинг почв».

## Заключение

В настоящее время человечество стало мощной геохимической силой, сопоставимой с геологическими силами природы. Возникла необходимость выделения особой категории геохимических процессов – техногенной миграции (техногенеза), совокупности геохимических и геофизических процессов, связанных с деятельностью человечества (Глазовская, 2007).

*Загрязнение почв* – это антропогенное накопление в почве токсических и вредных веществ и организмов, вызывающих деградацию или деструкцию почвенного покрова, изменение морфологии, состава микрофлоры почв, ухудшение физико-химических и химических свойств почв, снижение плодородия почв, биопродуктивности, технологической, питательной, гигиеническо-санитарной ценности выращиваемых культур и качества других контактирующих с почвами природных сред (Большаков, 1978).

В системе геохимического мониторинга окружающей среды, в частности – ее почвенного компонента, резко обозначилась следующая проблема – отсутствие надежных эталонных почв для оценки уровня современного загрязнения почвенного покрова (в том числе – глобального) тяжелыми металлами и металлоидами. С этой целью авторами предлагается изучение уровня накопления элементов в древних погребенных почвах, надежно изолированных от современных воздействий окружающей среды, в том числе – от антропогенных и техногенных. В дальнейшем результаты проведенных исследований можно сопоставить с современными почвами для выявления объективной техногенности каждого конкретного элемента. Очень важно, чтобы изучаемые современные и древние почвы формировались в одних и тех же природно-климатических условиях и на одних почвообразующих породах, что позволит сделать корректные сравнения.

В качестве объектов исследований использованы **погребенные почвы**: преимущественно **археологических памятников** (под курганами, оборонительными и ритуальными валами, обваловками жилищ), а также **погребенные почвы природного происхождения** (перекрытые лессовыми отложениями). Они подбирались с учетом сохранности погребенных почв, степени их изоляции от возможного атмосферного загрязнения ТМ, а также датировки. Археологические сведения необходимы и для оценки

степени возможного загрязнения погребенных почв антропогенным веществом в процессе функционирования поселений и городищ. Объектами сравнения являются **зональные дневные почвы** вблизи изучаемых объектов.

Изучено 11 древних объектов, содержащих погребенные почвы, расположенных на Урале и в Западной Сибири в различных природных зонах (подзонах) и на их границах: средней тайге, южной тайге, северной лесостепи, южной лесостепи и настоящей степи. Для каждого объекта подобрана и исследована фоновая почва, формирующиеся в тех же природно-климатических условиях на однотипных почвообразующих породах. Все изучаемые объекты находятся на достаточном удалении от источников загрязнения для того, чтобы исключить влияние локальных и региональных загрязнителей.

Проведено геоботаническое описание ландшафтов, изучены морфологически и отобраны образцы. Подготовлено и проанализировано на содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Fe) 116 образцов гумусовых горизонтов погребенных и дневных почв и почвообразующей породы. Аналитические исследования почв указанных объектов включали в себя определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом. На содержание микроэлементов проанализированы также 13 препаратов гуминовых кислот, выделенные из погребенных и дневных почв. Дана предварительная оценка уровня содержания тяжелых металлов в погребенных почвах; выявлено содержание ТМ в органическом веществе погребенных почв; дана сравнительная характеристика содержания ТМ в погребенных почвах, а также в аналогичных современных дневных относительно незагрязненных (ненарушенных, “фоновых”) почвах.

В результате проделанной работы сделаны некоторые общие выводы:

1. В большинстве случаев в изучаемых антропогенно нарушенных почвах (главным образом – на фортификационных валах городищ, а также на обваловках древних жилищ, под насыпями курганов, под насыпями ритуальных валов курганов, под культурным слоем поселений, под насыпями, аллювиальными и эоловыми отложениями естественного происхождения) морфологически хорошо фиксируются погребенные гумусовые горизонты почв.

2. Эти же горизонты дифференцируются и с помощью химических показателей: в них обнаруживается повышенное содержание органического углерода, повышенное количество подвижных элементов (калия, фосфора, натрия), а также – кальция и в некоторых случаях –

карбонатов. Имеются отличия и по другим изучаемым физико-химическим показателям (гранулометрический состав, валовой химический состав, качественный состав гумуса и др.)

3. Морфологические и физико-химические показатели, а также сравнительные характеристики гумусного состояния и качественного состава гумуса погребенных и современных голоценовых почв, указывают на сходство изучаемых погребенных и дневных почв, по крайней мере – на уровне подтипа. Это указывает на то, что изучаемые современные и древние почвы формировались в одних и тех же природно-климатических условиях и на одних почвообразующих породах, что позволит сделать корректные сравнения содержания в них тяжелых металлов (ТМ).

4. Погребенные горизонты, оказывающиеся в профильном распределении в непосредственной близости от КС, характеризуются повышенным загрязнением антропогенным веществом. По-видимому, такие почвы нельзя принимать за фоновые при сравнительном анализе содержания в них ТМ, а их необходимо рассматривать как особые природно-исторические тела, сохраняющие в себе отпечаток деятельности древнего человека.

5. Наиболее относительно чистыми в химическом отношении и с морфологически ненарушенной структурой оказываются погребенные почвы: а) под древними курганами и ритуальными валами вблизи них; б) естественно погребенные почвы речных пойм; в) доголоценовые (плейстоценовые) почвы.

6. Оценка содержания ТМ в минеральных горизонтах дневных почв, относительно удаленных от источников загрязнения, не выявила превышения содержания в них изучаемых микроэлементов относительно действующих нормативов (ПДК, ОДК), что позволяет рассматривать их как фоновые. Имеющиеся колебания содержания в них изучаемых элементов связаны с геохимическим фоном конкретной территории.

7. Проведенные исследования показывают, что в лесных почвах большая часть ТМ аккумулируется в лесной подстилке, тогда как в лесостепной и степной зонах не происходит сколько-нибудь заметного накопления элементов в верхнем слое дернины и в степном войлоке – наряду с ними основным геохимическим барьером для ТМ служит минеральный гумусовый горизонт. При изучении содержания ТМ в экстрагированных гуминовых кислотах выявлено, что с ними связано не более 20-30 % от общего содержания всех имеющихся в почве ТМ, остальное количество, по-видимому, приходится на минеральную часть почв.



8. Сравнительный анализ содержания ТМ в погребенных и в дневных почвах не позволил выявить каких-либо достоверных различий, связанных с явлением глобального рассеяния элементов. Можно только отметить отдельные случаи повышенных количеств Fe, Zn, Cr, Mn, Pl, главным образом – в дневных таежных почвах.

9. При изучении культурного слоя (КС) и погребенных почв на древних поселениях, связанных с интенсивной и длительной деятельностью древнего человека, показано относительное их загрязнение ТМ. Большая часть загрязнителей приходится на поселения эпохи бронзы, в которых выявлены специфические маркеры (Zn, Pl, Cu), связанные с металлургическим производством.

10. Таким образом, верхние минеральные горизонты дневных почв, удаленные от основных источников загрязнения, по нашим данным практически не подвержены влиянию глобального атмосферного загрязнения и наряду с погребенными могут считаться фоновыми для этих территорий. В то же время необходимо отметить, что несмотря на это локальное и региональное техногенное загрязнение может проявляться в больших масштабах.

### Список литературы

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
- Алпатыев А.М. Физическая география СССР. Азиатская часть / А.М. Алпатыев и [др.]. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1976. – 360 с.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 488 с.
- Археологическая карта Курганской области / под ред. Н.Б. Виноградова. – Курган: Красный Курган, 1993. – 340 с.
- Архипова Н.П. Окрестности Свердловска / Н.П. Архипова. – Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1968. – 175 с.
- Ахтырцев Б.П. Изменение гумусного состояния лесостепных и степных черноземов под курганами и при длительной распашке / Б.П. Ахтырцев, А.Б. Ахтырцев // Почвоведение. – 2002. – № 2. – С. 140–149.
- Бахарева А.Ф. Почвы Курганской области / А.Ф. Бахарева. – Курган : Красный Курган, 1959. – 153 с.
- Безносиков В.А. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах европейского северо-востока России / В.А. Безносиков [и др.]. - Почвоведение, 2007. - № 7. - С. 1064-1070.
- Большаков В.А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. – М., 1978.
- Бондарев Л.Г. Металлический пресс на биосферу / Л.Г. Бондарев // Проблемы общей и физической географии: сб. статей. – М.: МГУ, 1976. – С.140-149.
- Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- Валдайских В.В. Химические особенности культурного слоя Павлинова городища / В.В. Валдайских, Г.И. Махонина // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно преобразованных экосистем : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2006. – С. 68–72.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. - 1962. - № 7.
- Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.:

ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2005. – 110 с.

Водяницкий Ю.Н. Критерии техногенности тяжелых металлов и металлоидов в почвах (литературный обзор) / Ю.Н. Водяницкий. - Почвоведение, 2009. – № 9. – С. 1133-1141.

Водяницкий Ю.Н. Минералогия и геохимия марганца (обзор литературы) // Почвоведение. – 2009. – №10. – С.1256-1265.

Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2009. – 184 с.

Водяницкий Ю.Н. Формы цинка в загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2010. – №3. – С.293-302.

Волошин Е.И. Содержание и распределение микроэлементов в почвах Средней Сибири / Е.И. Волошин. – Вестник КрасГУ, 2008. – № 4. – С. 28-37.

Гаврилова И.П. Практикум по геохимии ландшафта: Учеб. пособие / И.П. Гаврилова, Н.С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 73.

Гаджиев И.М. Овчинников С.М. Почвы средней тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 152 с.

Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: МГУ, 1973. – 248с.

Генезис, эволюция и география почв Западной Сибири / под ред. И.М. Гаджиева. – Новосибирск: Наука, 1988. – 224 с.

Геология СССР. Т. 12, Ч. 1, Книга 2: Геологическое описание. М.: Недра, 1969. – 304 с.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов : учеб. пособие / М.А. Глазовская. – М.: МГУ, 2007. – 350 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды и влиянии факторов среды на обитание и здоровье населения Свердловской области в 2008 г. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2009. – 354 с.

Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества / В.А. Демкин. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 213 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение / М.И. Дергачева. – Новосибирск: СО РАН, 1997. – 228 с.

- Дергачева М.И. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала / М.И. Дергачева, О.А. Некрасова, Н.Л. Лаврик. – Препринт. – Новосибирск, 2002. – 24 с.
- Дергачева М.И. Органическое вещество: статика и динамика (на примере Западной Сибири) / М.И. Дергачева. – Новосибирск: Наука, 1984. – 152 с.
- Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: пространственные и временные аспекты / М.И. Дергачева. – Новосибирск: Наука, 1989. – 109 с.
- Добровольский В.В. География микроэлементов: глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272с.
- Добровольский В.В. Геохимическое землеведение: учеб пособие для студентов, обучающихся по специальности "География" / В.В. Добровольский. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2008. – 207с.
- Добровольский В.В. Роль гуминовых кислот в формировании миграционных массопотоков тяжелых металлов / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 2004. – №1. – С. 32-39.
- Добровольский Г.В. География почв / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 460 с.
- Добровольский Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв : учебник / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. – 364с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. – 364 с.
- Елизарова Т.Н. [и др.]. Эколого-мелиоративный потенциал почвенного покрова Западной Сибири. – Новосибирск: “Наука”, 1999. – 239 с.
- Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Иваненко А.А. Термодинамическое состояние кадмия и свинца в почвах каштаново-солонцового комплекса// Агрохимия, № 9, 2008. С. 59-65.
- Еремченко О.З. Природно-антропогенные изменения солонцовых почв в Южном Зауралье / О.З. Еремченко. – Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1997. – 319 с.
- Жидеева В.А. Фракционный состав соединений Pb, Cd, Ni, Zn в лугово-черноземных почвах, загрязненных выбросами аккумуляторного завода / В.А. Жидеева, И.И. Васенев, А.П. Щербаков // Почвоведение. – 2002. – №6. – С.725-733.

Зданович Г.Б. Аркаим – Страна городов: пространство и образы (Аркаим: горизонты исследований) / Г.Б. Зданович, И.М. Батанина. – Челябинск: Изд-во Крокус, 2007. – 260 с.

Зданович Г.Б. Аркаим. По страницам древней истории Южного Урала / Г.Б. Зданович, Н.О. Иванова. – Челябинск: Изд-во Крокус, 2004. – 348 с.

Зырин Н.Г., Рерих В.И., Тихомиров Ф.А. Формы соединения цинка в почвах и поступление его в растения. – Агрохимия, № 5, 1976, – 124 с.

Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене / И.В. Иванов. – М. : Наука. – 1992. – 144 с.

Иванов А.И. Опыт сравнительного анализа подкурганых современных почв по содержанию элементов тяжелых металлов / А.И. Иванов, М.И. Дергачева, П.Ф. Кузнецов // Проблемы взаимодействия природы и человека в Среднем Поволжье (методы, задачи, перспективы). – Самара, 1997. – С. 28-31.

Иванов И.В. Вопросы археологического почвоведения и некоторые результаты палеопочвенных исследований в заповеднике Аркаим / И.В. Иванов, С.С. Чернянский // Археологические источники и моделирование древних технологий. – Челябинск, 2000. – С. 3–16.

Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене / И.В. Иванов. – М.: Наука. – 1992. – 144 с.

Изерская Л.А. Формы соединений тяжелых металлов в аллювиальных почвах Средней Оби / Л.А. Изерская, Т.Е. Воробьева // Почвоведение. – 2000. – №1. – С. 56-62.

Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

Ильин В.Б. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В.Б. Ильин [и др.]. // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С.550-556.

Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

Калинин П.И. Гидротермические характеристики погребенных голоценовых почв степей приволжской возвышенности / П.И. Калинин и А.О. Алексеев. - Вестник ВГУ: Серия география, геоэкология. – 2008. – № 1. – С. 9-15.

Караванова Е.В. Влияние водорастворимого органического вещества на поглощение

цинка дерново-подзолистой почвой / Е.В. Караванова, А.Д. Шапиро // Почвоведение. – 2004. – №3. – С. 301-305.

Кашин В.К. Хром в почвах Западного Забайкалья / В.К. Кашин, Г.М. Иванов // Почвоведение. – 2002. – №3. – С.311-318.

Колесников С.И. Изменение эколого-биологических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении тяжелыми металлами второго класса опасности (Mo, Co, Cr, Ni) / С.И. Колесников [и др.]. // Почвоведение, 2009. – № 8. – С. 1007-1013.

Коркина И.Н. Качественный состав гумуса в разновозрастных почвах археологических памятников / И. Н. Коркина, Г.И. Махонина // Всеросс. научно-практич. конф., посвящ. памяти уральских ученых: Н.А. Иванова, В.Ф. Трушина и С.А. Чазова : сб. науч. тр. – Екатеринбург, 2001. – Т. 3. – С.177–184.

Краснощекоев Ю.Н. Микроэлементы в криоземах предтундровых лесов Приенисейской Сибири / Ю.Н. Краснощекоев // Почвоведение. – 1999. – №12. – С. 1455-1462.

Ладонин Д.В. Влияние железистых и глинистых минералов на поглощение меди, цинка, свинца и кадмия в конкреционном горизонте подзолистой почвы / Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 2003. – №10. – С.1197-1206.

Ладонин Д.В. Изучение механизмов поглощения Cu (II), Zn (II) и Pb (II) дерново-подзолистой почвой / Д.В. Ладонин, О.В. Пляскина // Почвоведение. – 2004. – №5. – С. 537-545.

Малинина М.С. Водорастворимые соединения ртути в лесных почвах северной и южной тайги / М.С. Малинина, Н.С. Гладкова // Почвоведение. – 2004. – №2. – С. 189-196.

Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М.: Наука, 1964. – 314 с.

Махонина Г.И. Археологическое почвоведение в системе знаний о взаимоотношениях природы и человека / Г.И. Махонина, В.В. Валдайских // Изв. Урал. гос. ун-та. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. – 2007. – Вып. 20. – С. 219–226.

Махонина Г.И. Тяжелые металлы в дневных и погребенных почвах на археологических памятниках / Г.И. Махонина, С.А. Махнева // Всероссийская научная конференция, посвященная памяти Уральских ученых: д.б.н. Н.А. Иванова, д.с/х.н. В.Ф. Трушина и С.А. Чазова. Сборник научных трудов. Том 3. – Екатеринбург: УрГСХА, 2001. – Т.3. – С. 142-149.

Махонина Г.И. Формирование подзолистых почв на археологических памятниках в Западной Сибири / Г.И. Махонина, И.Н. Коркина. – Екатеринбург: Академкнига, 2002. – 264 с.

Минкина Т.М. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного / Т.М. Минкина, Г.В. Мотузова, О.Г. Назаренко // Почвоведение. – 2006. – №7. – С.804-811.

Минкина Т.М. Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны / Т.М. Минкина [и др.]. – Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 810-818.

Мотузова Г.В. Почвенно-экологический мониторинг / Г.В. Мотузова. – М.: МГУ, 2001. – 86 с.

Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг/ Г.В. Мотузова. – М.: Эдиториал УРСС, 1999.– 168 с.

Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова. – М. : Книжный дом "Либроком", 2009. – 168 с.

Мотузова Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический проект, 2007. – 237 с.

Нейштадт М.И. Определитель растений / М.И. Нейштадт. – М. : Учпедгиз, 1963. – 640 с.

Некрасова О.А. Гуминовые кислоты почв Южного Урала и оценка возможностей их использования при палеореконструкциях природной среды: Автореф. дисс. канд. биол. наук, Томск: ТГУ, 2002. –26 с.

Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.

Панин М.С. Адсорбция меди почвами Семипалатинского Прииртышья / М.С. Панин, Т.И. Сиромля // Почвоведение. – 2005. – №4. – С. 416-426.

Переверзев Е.Н. Аккумуляция никеля и меди в лесных подзолах в результате выбросов предприятий цветной металлургии / Е.Н. Переверзев, Т.Е. Свейструп, М.С. Стрелкова // Почвоведение. – 2002. – №3. – С.364-367.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М. : Астeya-2000, 1999. – 768 с.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Недра, 1975. – 341с.

Петухова Н.Н. Геохимическая специфика погребенных почв долины Немана / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Геохимия. – 1997. – № 7. – С. 144-152.

Пинский Д.Л. Поведение Cu (II), Zn (II), Pb (II), Cd (II) в системе раствор-природные сорбенты в присутствии фульвокислоты / Д.Л. Пинский, Б.Н. Золотарева // Почвоведение. – 2004. – №3. – С. 291-300.

Плеханова Л.Н. Эволюция почв речных долин степного Зауралья во второй половине голоцена / Л.Н. Плеханова, В.А. Демкин, Г.Б. Зданович; [отв.ред. О.И. Худяков]; Ин-т физ.-хим. и биол. Проблем почвоведения РАН. – М. : Наука, 2007. – 236 с.

Пономарева В.В. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – М., 1975. – 105 с.

Почвы СССР / под ред. Г.В. Добровольского. – М. : Мысль, 1979. – 380 с.

Протасова Н.А., Щербаков А.П., Копаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. – 168 с.

Свалова А.В. Гумусовые профили черноземов юга Западной Сибири / А.В. Свалова // Современные проблемы почвоведения и оценки земель Сибири : материалы III Всероссийской науч. конф. – Томск, 2005. – С. 11–14.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И.А. Соколов. – Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. – 288 с.

Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв / М.Д. Степанова. - Новосибирск: Наука, 1976. – 105 с.

Сычева С.А. Почвенно-геоморфологические аспекты формирования культурного слоя древних поселений / С.А. Сычева // Почвоведение. – 1994. – № 3. – С. 28–33.

Теория и практика химического анализа почв (Под редакцией Л.А. Воробьевой). – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.

Травянистые растения СССР / под ред. Т.А. Работнова. – М. : Мысль, 1971. – Т. 2. – 309 с.

Физико-географическое районирование Тюменской области / под ред. Н.А. Гвоздецкого. – М. : МГУ, 1973. – 244 с.

Ханты-Мансийский автономный округ: Атлас. М.: ГУГиК, 1980. – 28 с.



Manceau A. Direct determination of lead speciation in contaminated soils by EXAFS spectroscopy / A. Manceau et al. // Environ. Sci. Technol., 1996. – V. 30. – P. 1540-1552.

Morin G. Determination of the chemical form of lead in smelter-contaminated soils and mine tailings Importance of adsorption process / G. Morin et al. // Am. Mineral., 1999. – V. 84. – P. 420-434.

Shotuk W. History of atmospheric lead deposition since 12 370  $^{14}\text{C}$  yr BP from a peat bog, Jura mountains Switzerland / W. Shotuk et al. // Science, 1998. – V. 29. – P. 1635-1640.

**Методика определения содержания растворимых форм  
тяжелых металлов в пробах почв  
атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой**

Пробоподготовка почв для анализа осуществлялась с использованием системы микроволнового разложения MARS-5 (производитель – CEM Corporation). Для проведения анализа навеску почвы массой  $0,5000 \pm 0,0002$  г взвешивали на аналитических весах, помещали в стакан из фторопласта, добавляли 4 мл HF, 5 мл HNO<sub>3</sub>, 1 мл HCl, помещали в стакан мешальник и подвергали разложению по следующему режиму:

Мощность: 800 Вт;

Выход на режим: 10 минут;

Максимальное давление: 175 psi;

Максимальная температура: 210°C;

Время разложения: 25 минут.

После обработки стаканы с содержимым охлаждали до комнатной температуры, добавляли 25 мл 4% борной кислоты, количественно переносили в мерную колбу вместимостью 50 мл и доводили до метки деионизованной водой.

Полученный раствор анализировали на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6500 Thermo Scientific методом градуировочного графика. Для анализа были выбраны линии эмиссионного спектра, приведенные в табл. 1. Анализ по каждой линии проводили в трех параллелях, значения концентраций, полученные по различным линиям, усредняли. По результатам анализа рассчитывали содержание металлов в образцах почв. Аппаратная погрешность определения концентрации металлов не превышает  $\pm 1.5\%$ . Примеры градуировочных графиков приведены на рис. 1-3.

Табл. 1.

Аналитические линии, использованные для элементного анализа.

Металл	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Аналитические линии, нм	326.862	237.862 238.892	267.716 359.349	324.754 327.396	259.837 259.940	257.610 293.930	361.939	182.205	334.502

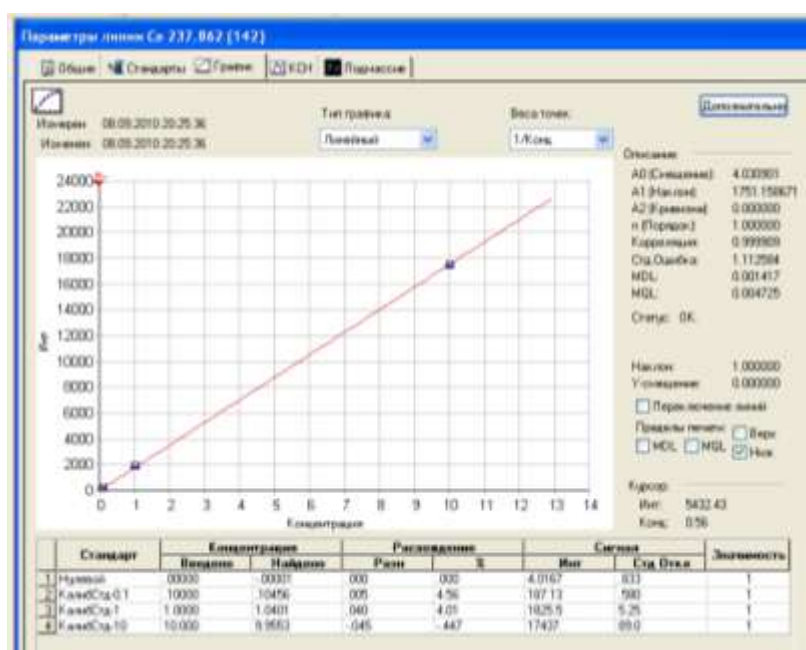


Рис. 1. Градуировочный график для определения кобальта по линии 237.862 нм методом АЭС.

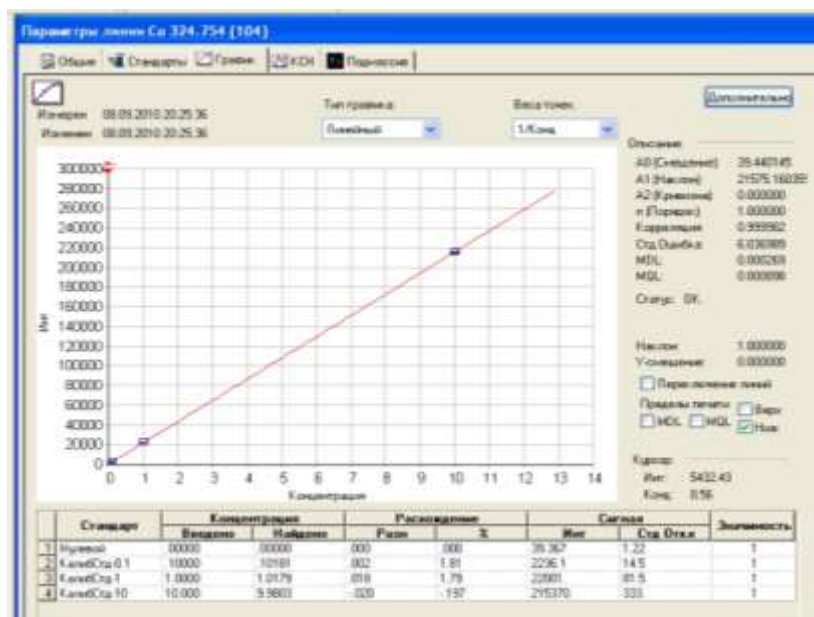


Рис. 2. Градуировочный график для определения меди по линии 324.754 нм методом АЭС.

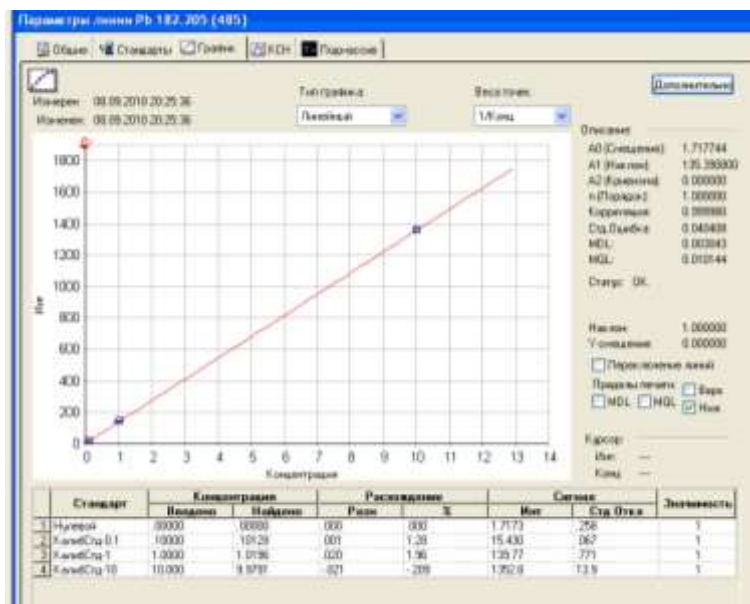


Рис. 3. Градуировочный график для определения свинца по линии 182.205 нм методом АЭС.